

Ari Ylikulju

**VÄRÄHTELYMITTAUKSEN KÄYTTÖ PUMPUN JA
PUHALTIMEN JATKUVATOIMISESSA
KUNNONVALVONNASSA**

**VÄRÄHTELYMITTAUKSEN KÄYTTÖ PUMPUN JA
PUHALTIMEN JATKUVATOIMISESSA
KUNNONVALVONNASSA**

Ari Ylikulju

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Kone- ja tuotantotekniikka

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

ALKULAUSE

Opinnäytetyö on tehty Ruukki Metals Oy:n toimeksiannosta syksyn 2011 ja kevään 2012 aikana. Työn valvojana toimi lehtori Esa Törmälä Oulun seudun ammattikorkeakoulun Raahen kampukselta. Työelämäkoordinaattorina toimi kunnonvalvontainsinööri Marko Lehtosaari Ruukki Metals Oy:stä.

Kiitos Esalle ja Markolle työn ohjaamisesta sekä arvokkaista neuvoista.

Pyhäjoella 22.5.2012

Ari Ylikulju

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, Metalli- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Ari Ylikulju

Opinnäytetyön nimi: Värähtelymittauksen käyttö pumpun ja puhaltimen
jatkuvatoimisessa kunnonvalvonnassa

Työnohjaajat: Lehtosaari Marko, Törmälä Esa

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012

Sivumäärä: 42+3

Opinnäytetyö tehtiin Ruukki Metals Oy:n Raahan tehtaan kuumanauhavalssaamolle. Valssaamon prosessilaitteisiin on nähty tarpeelliseksi lisätä kunnonvalvontaa. Yhtenä mahdollisuutena nähdään jatkuvatoiminen kunnonvalvontajärjestelmä. Työn tarkoituksena oli tutkia ifm electorin toimittaman kiinteän kunnonvalvontajärjestelmän soveltuvuutta prosessilaitteisiin ja vallitseviin olosuhteisiin.

Valvottavat kohteet ovat hihnakäyttöinen jäähdytyspuhallin, vettä pumppaava siipipumppu sekä jäähdytystornipuhallin. Työhön kuuluivat kohteiden vikaantumismekanismien selvittäminen, mittausparametrien määrittely, itse mittaaminen sekä vertailumittaus nykyiseen, kannettavalla mittalaitteella suoritettavaan värähtelymittaukseen. Vertailumittaukset suoritettiin pumpulle.

Pumpulle suoritettussa vertailumittauksessa havaittiin, että nopeusspektrit vastaavat erittäin hyvin toisiaan verrattaessa uuden kiinteän ja nykyisen kannettavan mittauksia. Kiihtyvyy- ja verhoikäymittauksessa spektrit eivät olleet niin yhtenevät. Molempien järjestelmien mittaustulosten päätelmät koneen kunnosta olivat kuitenkin samat, akuuttia vikaa ei ollut mittaussajankohtana.

Tuloksia saatiin koemittausten aikana, ja niitä voidaan käyttää vertailupohjana tulevaisuudessa. Laitteisto on nyt kolmeen kohteeseen asennettu ja valvontaparametrit asetettu. Järjestelmä vaatii vielä lisää mittauksia, jotta voidaan varmistaa laitteiston kestävyys ja nähdään, miten viat ilmenevät mittauksissa.

Jatkokehityskohteeksi jäi kunnonvalvontajärjestelmästä löytyvän hälytysten käyttöönotto ja hyödyntäminen. Hälytyksillä kunnonvalvontaa saataisiin automatisoitua.

Asiasanat: kunnonvalvonta, värähtelymittaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

Author: Ari Ylikulju

Title of thesis: The Use of Vibration Measurement in Continuous Condition Monitoring of Pumps and Cooling Fans

Supervisors: Lehtosaari Marko, Törmälä Esa

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2012

Number of pages: 42+3

This Bachelor's thesis was commissioned by Ruukki Metals Oy. It is considered necessary to increase the condition monitoring of process equipment in the hot strip mill. One possibility is a continuous condition monitor.

The aim of this thesis was to test the permanent condition monitoring system. The system is delivered by Ifm Electronic Oy. The process equipment to be tested was a belt-driven cooling fan, a vane pump and a cooling tower.

Part of the thesis was to find out a failure mechanism of these process equipment, select measurement parameters and measuring itself. A comparison between the new and the old measuring system was also part of this thesis.

It was determined that the velocity spectrum in both systems had comparable results. In acceleration and envelope measurements, the spectrums were not so similar. The result of the analysis was the same on each system: there is no fault which needs to be repaired.

The permanent condition monitoring system is now being installed and parameters set. The concluded system still needs more measurements that can ensure the durability of the parts.

The alarm system also needs more development. There are alarm limits in the condition system but they have to be utilized. Alarms can then be used to automate the condition monitoring.

Keywords: condition monitoring, vibration measurement

SISÄLLYS

ALKULAUSE	1
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
1.1 Rautaruukki Oyj	6
1.2 Ruukki Metals Oy	6
1.3 Kuumanauhavalssaamo	7
2 MÄÄRITELMÄ	8
3 VÄRÄHTELYMITTAUS	9
3.1 Värähtelymittauksen teoriaa	9
3.2 Aikatasosignaali	12
3.3 Taajuustaso eli spektri	12
3.4 Verhokäyräanalyysi	13
3.5 Värähtelymittauksessa käytettävät anturityypit	15
3.5.1 Siirtymäanturit	16
3.5.2 Nopeusanturit	16
3.5.3 Kiihtyvyyssanturit	17
3.5.4 MEMS-anturit	17
3.6 Anturin paikka ja kiinnitys	17
4 VÄRÄHTELYMITTAUKSEN KÄYTTÖ KOHTEISSA	19
4.1 Päämoottorin puhallin	19
4.2 Pumppu positio 13.1	20
4.3 Tornipuhallin positio 40.1	21
5 MITTAUS	22
5.1 Mittausparametrit	23

5.1.1 Päämoottorin puhaltimen mittausparametrit	24
5.1.2 Pumpun mittausparametrit	25
5.1.3 Tornipuhaltimen mittausparametrit.....	26
5.2 Mittaaminen VES003-ohjelmalla.....	26
5.2.1 Vauriotaso	27
5.2.2 Spektrinäkymä.....	28
5.2.3 Aikapohjainen historia	29
5.3 Hälytykset	30
5.4 Vertailumittaus.....	30
6 ANALYYSI.....	32
6.1 Havaintoja mittauksista.....	32
6.1.1 Päämoottorin puhaltimen kokonaistärinätaaso	33
6.1.2 Päämoottorin puhaltimen laakerivalvonta.....	34
6.1.3 Pumppu positio 13.1 aikapohjainen historia	36
6.2 Vikojen tunnistaminen ja raportointi	37
6.3 Vertailumittauksen analyysi	38
7 JATKOKEHITYS	40
8 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	42

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ifm electronicin toimittaman kiinteän kunnonvalvontajärjestelmän soveltuvuutta kuumanauhavalssaamon prosessilaitteisiin. Testauksia varten järjestelmä on rakennettu kolmeen erilaiseen prosessilaitteeseen, jotta voidaan käytännössä nähdä sen toimivuus ja luotettavuus. Mitattavat laitteet ovat osa kuumanauhavalssaamon tuotantoprosessia.

1.1 Rautaruukki Oyj

Rautaruukki Oyj toimittaa metalliin perustuvia komponentteja, järjestelmiä ja kokonais-toimituksia rakentamiseen ja konepajateollisuudelle. Ruukki kehittää ja valmistaa teräksiä, ja pääpaino tänä päivänä on erikoisteräksissä. (Rautaruukki Oyj 2010, hakupäivä 14.11.2011)

Rautaruukki Oyj yhtiöitettiin vuonna 2011. Uudet tytäryhtiöt jaettiin liiketoimintalueittain. Ruukki Construction on keskittynyt rakentamiseen, Engineering konepajaliiketoimintaan sekä Metals terästen valmistamiseen. (sama)

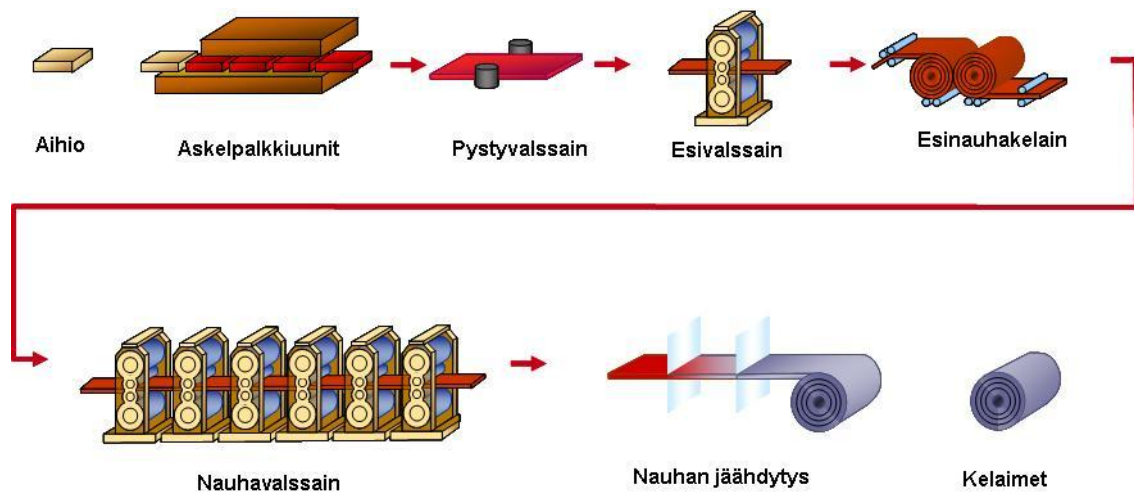
1.2 Ruukki Metals Oy

Ruukki Metalsin toimialana on terästen valmistus, jossa pääpaino on erikoisteräksissä. Yhtiön strategiana on nostaa erikoisterästen osuutta Metalsin liikevaihdosta 60 prosenttiin. Vuonna 2010 vastaava osuus oli 27 %. (sama)

Terästuotteita ovat kuuma- ja kylmävalssatut terästuotteet, metalli- ja maalipinnoitetut teräkset sekä putket, palkit ja profiilit. Erikoisterästuotteita ovat erikoislujat rakenneteräkset, kulutusta kestävät ja erikoispinnoitetut teräkset sekä suojausteräkset. (sama)

1.3 Kuumanauhavalssaamo

Sulatolta toimitettavat aihiot kuumennetaan ensin askelpalkkiuunissa. Askelpalkkiuunija on kaksi ja molemmat ovat tuotantokapasiteetiltaan 300 t/h. Uunista lastataan punahehkuinen aihio tuotantolinjalle. Esivalssaimella aihio valssataan esinauhaksi 5 tai 7 pistolla. Pystyvalssaimella varmistetaan lopputuotteen oikea leveys. Suurin osa esinauhoista kelataan coilboxiin eli esinauhakelaimeen. Nauhavalssain koostuu kuudesta valssituolista, joissa esinauhasta valssataan halutun paksuinen teräsnauha. Ennen kelausta nauha jäähdytetään hallitusti jäähdytysvyöhykkeellä. (Kaisto 2012)



Kuva 1. Kuumanauhavalssaamon tuotanto. (Rautaruukki Oyj 2011)

2 MÄÄRITELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ifm electronicin toimittaman kunnonvalvontajärjestelmän soveltuvuutta kuumanauhavalssaamon prosessilaitteisiin sekä vallitseviin olosuhteisiin. Kohteeksi valittiin kolme hyvin erilaista laitetta. Kohteet ovat hihnakäyttöinen puhallin, siipipumppu ja tornipuhallin. Lisäksi laitteet sijaitsevat hyvin erilaisissa toimintaympäristöissä.

Valssaamolla on nähty tarpeelliseksi lisätä kunnonvalvontaa, ja yhtenä mahdollisuutena nähdään kokonaisedullinen kiinteä ja jatkuvatoiminen järjestelmä. Kunnonvalvontamittaukset tehdään tällä hetkellä kannettavalla mittalaitteella säännöllisin väliajoin.

Työn tarkoituksena on määritellä mitattaville laitteille mittaussparametrit, kerätä mittaus-tietoa sekä verrata mittaustuloksia kannettavalla mittalaitteella saatuihin tuloksiin.

3 VÄRÄHTELYMITTAUS

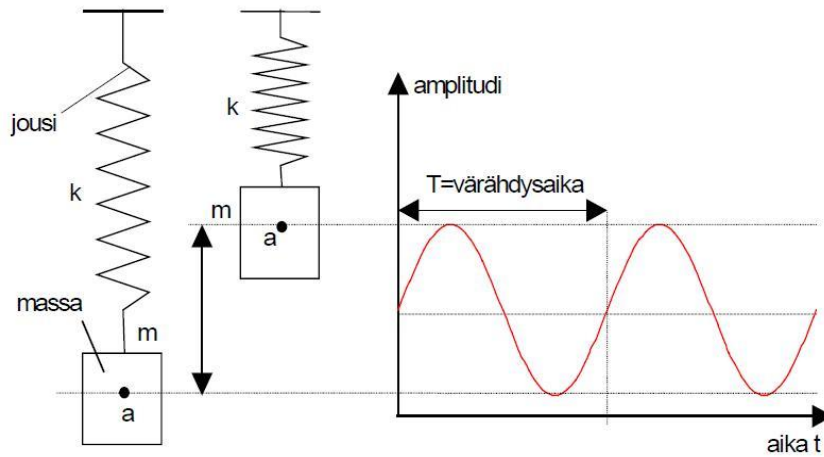
Värähtelymittaus on yleinen kunnonvalvontasovellus pyörivissä laitteissa teollisuudessa. Värähtelymittausta voidaan suorittaa hyvin monella eri tavalla ja erilaisilla laitteistoilla. Valvontalaitteen käyttökelpoisuus riippuu paitsi kohteesta ja sen kriittisyydestä tuotantoprosessista, myös ympäristöstä. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 223)

Laitteen käydessä värähtelyä havaitaan kunnosta riippumatta. Yleensä sitä osaa, joka aiheuttaa värähtelyn, ei voida suoraan mitata. Tärinä missä tahansa koneen osassa saa kokonaisuuden värähtelemään. Siksi onkin järkevää kiinnittää anturit runkoon, mieluiten laakereiden kohdalle, koska ne ovat suoraan kontaktissa kone-eliiniin. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 7)

Kunnonvalvontaan ja värähtelymittaukseen liittyy paljon sanastoa ja käsitteitä. Kunnonvalvontalaitteiden tuottaman mittaustiedon ymmärtämistä auttaa, kun tuntee värähtelyn sekä signaalin käsittelyn perusteoriaa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 224)

3.1 Värähtelymittauksen teoriaa

Kaikki värähtelyt voidaan kuvata yksinkertaisella jousi-massasysteemillä (katso Kuva 2, s.10). Kun massa m vaikuttaa jokin ulkoinen voima hetkellisesti, jää se värähtelemään tasapainoasemansa molemmin puolin. Yhteen värähdykseen kuluva aika merkitään yleensä T-kirjaimella. Jos piirretään massan liike ajansuhteen koordinaatistoon, saadaan aikatasosignaali, katso Kuva 2. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 7)

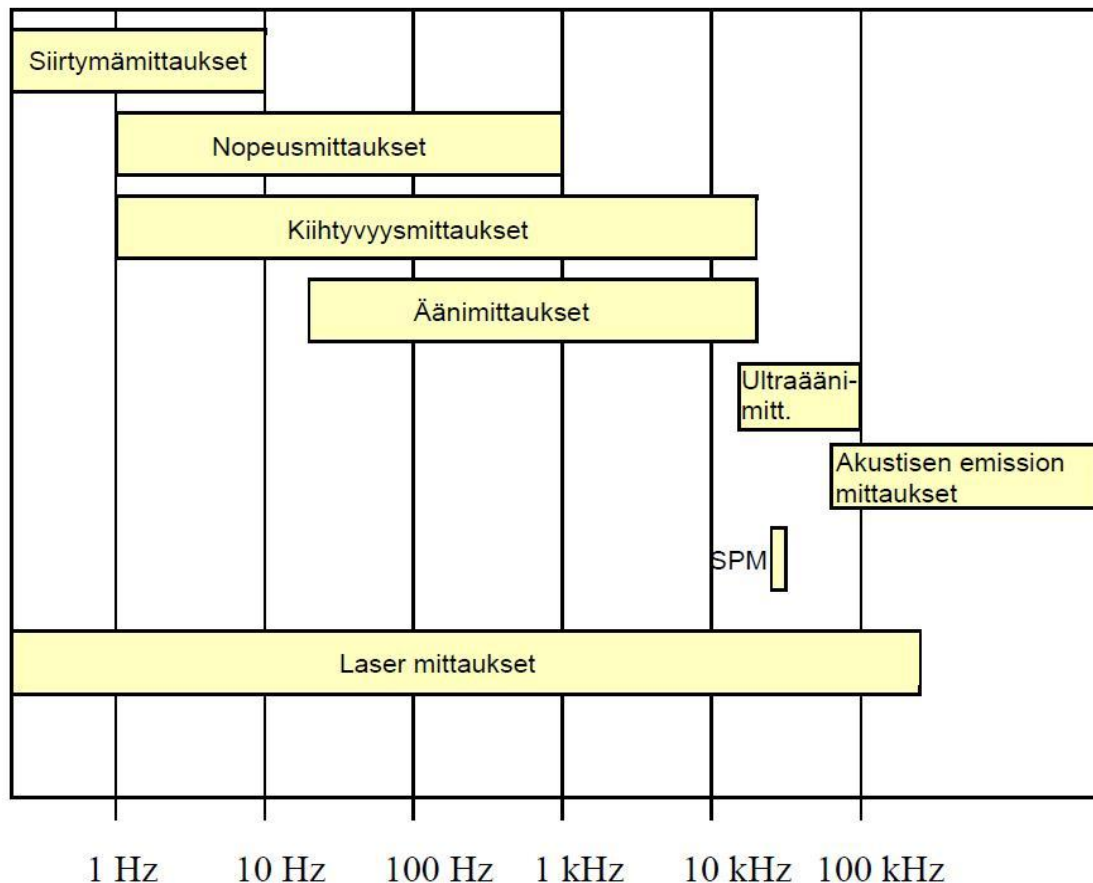


Kuva 2. Jousi-massasysteemin pisteen a värähtelyn esittäminen aikatasossa. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 7)

Yleensä värähtelymittauksessa tarkastellaan massan kiihtyvyyttä tai nopeutta. Siirtymän, nopeuden ja kiihtyvyyden matemaattiset yhteydet ovat derivointi ja integrointi. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 7)

Kosketusmittauksia on runsaasti erilaisia, joissa suurimpana erona käytön kannalta on taajuusalue. Kaikki värähtelymittaukset kattavat yhteensä taajuusalueen 0-1 GHz. Karkeasti mittausten menetelmät voidaan jakaa matala- ja korkeataajuisiin värähtelymittauksiin. Korkeataajuisia menetelmiä ovat esimerkiksi ultraääni ja akustinen emissio. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 247)

Matalataajuisista värähtelyä kutsutaan myös mekaaniseksi värähtelyksi. Sen taajuusalue on 0-20 kHz, joten se voidaan kuulla ja tuntea. Mekaaninen värähtely saa alkunsa jonkin laitteen osan ominaistaajuudesta, ja herätteenä toimii iskumainen liike. Tällainen tilanne voidaan ajatella olevan esimerkiksi vierintälaakerissa: ulkokehällä on kolo tai särö, johon laakerin kuulat iskumaisesti lyövät aina ohittaessaan. Isku saa ulkokehän värähtelemään sen ominaistaajuudella, ja värähtely etenee laitteessa sen kaikkiin osiin. Värähtely voidaan havaita esimerkiksi laitteen rungossa, jonne värähtelyn aistiva anturi on helppo asentaa. (sama, 248)



Kuva 3. Värähtelymittauksille tyypilliset taajuusalueet. Siirtymä-, nopeus-, kiihtyvyyss- ja äänimittaukset kykenevät mittaamaan matalaa mekaanista värähtelyä. SPM tarkoittaa iskusysäysmenetelmää. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, 11)

Värähtely ei kuitenkaan aina tarkoita vikaa, vaan kone värähtelee käydessään. On tunnistettava koneen normaalista toiminnasta johtuvat värähtelyt, jotta spektristä voidaan erottaa vian aiheuttamat värähdykset. Tunnistamista auttaa, jos laite tunnetaan hyvin ja tiedetään eri osien ominaistaajuuudet sekä mahdolliset herätteet.

Yksi vaihtoehto on tallentaa uuden tai kunnossa olevan laitteen värähtelyn spektriä, jota voidaan myöhemmin käyttää vertailupohjana. Jatkuvatoimisen kunnonvalvonnan etuja on, että mittausta nähdään lähes reaaliajassa ja muistiin tallentuu mittaustietoa yötä päivää. Kannettavalla mittalaitteella tehtyjen mittausten heikkous on, ettei vika ole välttämättä näkyvissä juuri mittaushetkellä.

Kunnonvalvonnassa oikeastaan olennaisinta onkin havaita muutos, nouseva trendi esimerkiksi kokonaistason valvonnassa. Poikkeavuuden havaitsemisen, detektion, jälkeen

selvitetään syy eli tehdään diagnoosi. Yleensä ollaan kuitenkin kiinnostuneempia siitä, että kuinka vakava poikkeama on. Prognosi on arvio tilanteen vakavuudesta. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 4)

Kun kunnonvalvontalaite on ollut riittävän pitkään käytössä ja sen perusteella voidaan luotettavasti nähdä koneen todellinen kunto, voidaan jättää mahdollisesti ”turhia” huoltoja tekemättä. Koneen käynnissä pitämiseen riittää, että vaihdetaan vain huonokuntoiset ja oireilevat osat. Tavoitteena on siirtyä kunnonvalvonnan avulla määräaikaishuolloista oikea-aikaiseen huoltoon. (sama, 2-3)

3.2 Aikatasosignaali

Kaikki värähtelyanturit mittaavat käytännössä aikatasosignaalia, eli esimerkiksi siirtymä-anturi mittaa laakerin fyysistä sijaintia mittaussuunnassa tiettyä ajankohtana. Mittalaite käsittelee aikatasosignaalin Fourier-muunnoksella, esimerkiksi FFT-laskennalla (Fast Fourier Transformation). (Nohynek & Lumme 2007, 66)

FFT-muunnoksella päästään aikatasosta taajuustasoon, jota yleisemmin kutsutaan spektriksi. (sama, 67)

3.3 Taajuustaso eli spektri

Muunnettaessa aikatasoa spektriiksi signaalia käsitellään. Spektrin lopputulos riippuu käsittelyn asetuksista, kuten spektriviivasta, keskiarvostustavasta sekä painotuksesta. (sama, 69)

Spektriviivojen lukumäärä yhdessä mittauksen ylärajataajuuden kanssa kertovat spektrin erotuskyvyn (engl. resolution). Erotuskyky on suoraan ylärajataajuuden ja spektriviivojen osamäärä. Se kertoo, kuinka lähellä toisiaan olevat taajuudet voidaan spektristä erottaa. (sama) Tulosten kannalta suuri spektriviivojen lukumäärä olisi siis hyvä, mutta se hidastaa mittaamista, ja jossakin tulee laitteiston raja vastaan.

Keskiarvostaminen tarkoittaa spektrien keskiarvojen laskentaa, eli otetaan useampi mitaus ja lasketaan niiden keskiarvo. Näin saadaan vähennettyä tai kokonaan poistettua satunnaisia häiriötekijöitä. (Nohynek & Lumme 2007, 71)

Tyypillisesti käytettäviä keskiarvostustapoja ovat (Nohynek & Lumme 2007, 71):

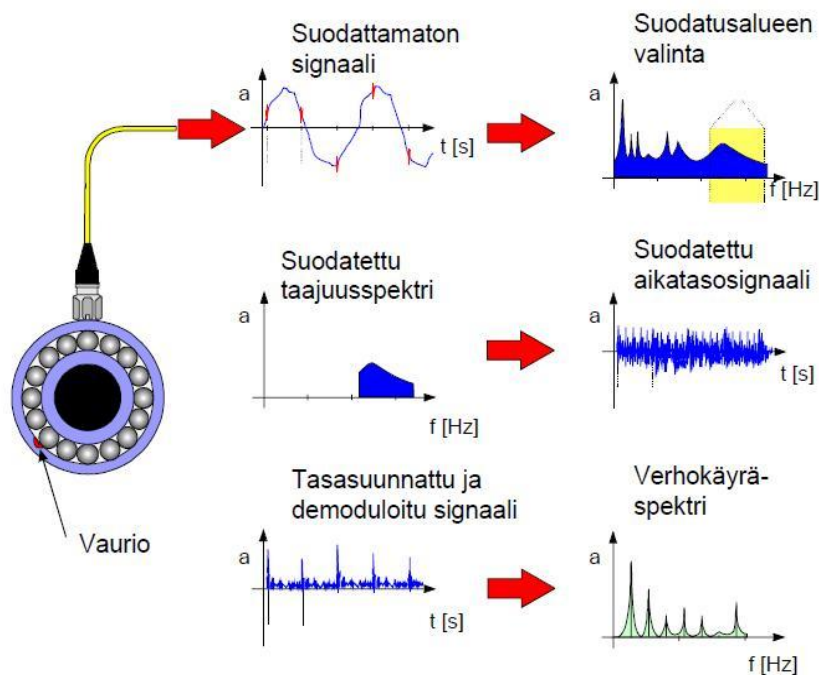
- normaali spektrin keskiarvostus – lasketaan spektriviivoittain spektrit yhteen ja jaetaan spektrien lukumäärällä
- huipun pito – jokaisesta mittauksesta jää muistiin spektriviivan korkein arvo
- tahdistettu keskiarvostus – aikatason mittaus aloitetaan aina samasta kohtaa (esim. akselin pyörähdys), lasketaan keskiarvo ja muutetaan spektriä.

Jotta saataisiin yhtenäinen spektri, on lisäksi käytettävä jotain painotusikkunaa aikatasossa. Painotusikkunoita ovat esimerkiksi suorakaide ja Hanning. Yleisimmin kunnonvalvonnassa käytetään Hanning-ikkunaa, koska se soveltuu erinomaisesti pyörivien komponenttien aiheuttamille värähtelyille. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 203)

3.4 Verhokäyräanalyysi

Verhokäyräanalyysi on erityisesti laakerivalvontaan hyvin soveltuva signaalinkäsittelymenetelmä. Sillä saadaan näkyviin säännöllisesti toistuvia heikkotehoisia komponentteja. (sama, 220)

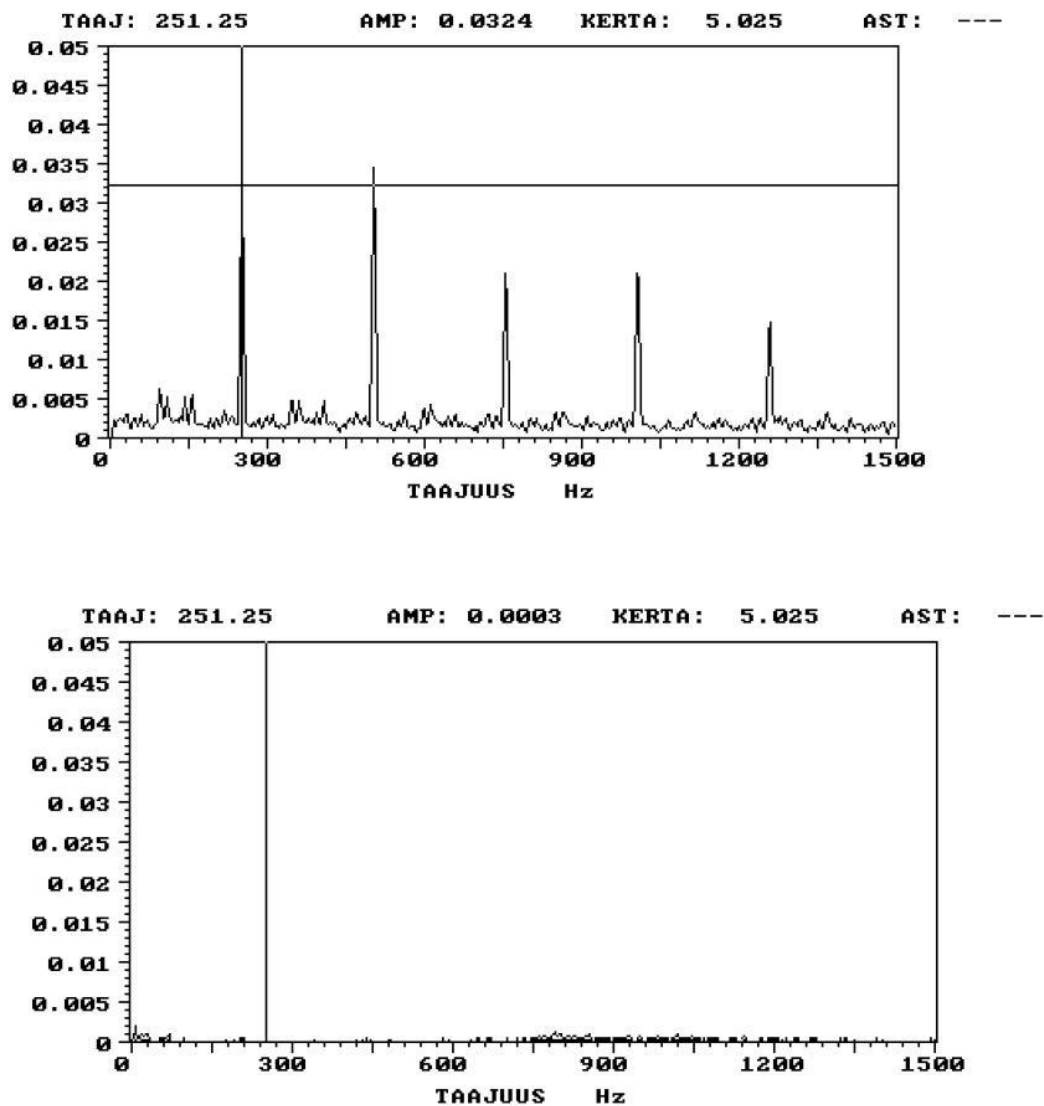
Alkava laakerivika aiheuttaa korkeataajuisia sysäyksiä, joita on vaikea havaita aika- tai taajuustasossa. Vian selvittämisen kannalta olennaista on näiden sysäysten toistumistaajuus. Verhokäyräanalyysissä amplitudimoduloituneesta aikatasosta FFT-laskennalla saadusta taajuustasosta suodatetaan ensin taajuusalue, jossa sijaitsevat laakerin eri osien ominaistaajuuDET. Amplitudimodulaatio tarkoittaa, että signaalia kerrotaan toisella signaalilla, kantoaallolla. Jotta heikkotehoiset komponentit saadaan paremmin esiin, signaalia vahvistetaan. Vahvistettu signaali demoduloidaan ja suodatetaan alipäästösuodatuksella. (sama, 221)



Kuva 4. Verhokäyräanalyysin periaate. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 15)

Laakerin voidaan ajatella olevan ehjä, jos verhokäyräspektri on tasainen. Jos spektrissä on teräviä piikkejä, voidaan ainakin alkavaa vikaa epäillä. Laakereiden vikataajuuudet voidaan laskea, ja useimmiten laakerin toimittajalta löytyy lista eri laakerityyppien vikataajuuksista. Kun tiedetään ulko- ja sisäkehän sekä kuulan vikataajuus, vika on helppo tunnistaa ja kohdentaa. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 15)

Laakeri aiheuttaa itsessään täysin ehyenäkin herätteitä, joista aiheutuu värähtelyä. Laakerin vaurioituessa herätteiden voimakkuus kasvaa, vaikkakin ne jäävät aika heikoiksi verrattuna laitteen kokonaistärinään. Tämän vuoksi laakerivauriot näkyvät paremmin verhokäyräanalyysissä. Onnistuneella mittauksella saadaan useimmat laakerivauriot kiinni jo kuukausia ennen laakerin totaalista hajoamista. Näin laakerin vaihdon ajankoh- ta voidaan etukäteen suunnitella, eikä laakeri pääse särkymään ja hajottamaan laitetta muuten. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 311)



Kuva 5. Ylemmässä spektrissä ulkokehävaurio. Ulkokehän vikataajuuden komponentti ja sen kerrannaiset näkyvät selvästi. Alemassa spektrissä on mittaustulos laakerinvaihdon jälkeen. (ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, 16)

3.5 Värähtelymittauksessa käytettävät anturityypit

Kunnonvalvontaa on suoritettu jo hyvin pitkään, eikä värähtelymittauksenkaan käyttö ole kovin uusi keksintö. Teknologian kehityksen myötä myös värähtelymittauksessa käytettävä välineet ovat kehittyneet. Aistinvaraisten ja mittaajasta riippuvaisten menetelmien rinnalle on kehitetty numeerisia arvoja antavia laitteita. Ensimmäiset värähtelyä mittaavat anturit olivat mekaanisia, joiden käyttö oli hyvin rajallista. Lisäksi anturit

haittasivat laitteen toimintaa kuormittamalla sitä. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 234)

Varsinaisen värähtelymittauslaitteiston mahdollistivat sähköiset värähtelyanturit. Nämä anturit muuttavat mekaanisen värähtelyn sähköiseen muotoon, jota on helppo siirtää ja muuttaa vertailukelpoiseen muotoon. Nykyiset värähtelyanturit voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan kolmeen ryhmään: kiihtyvyys-, nopeus- ja siirtymäantureihin. (sama)

3.5.1 Siirtymäanturit

Siirtymäanturit mittaavat matkaa anturista esimerkiksi akselin pintaan. Yleisin siirtymäanturi on ns. pyörrevirta-anturi. Anturissa olevan kelan ja akselin väliin muodostuu magneettikenttä. Anturin induktanssi muuttuu etäisyyden muuttuessa. (sama, 235)

Pyörrevirta-antureiden käyttö kunnonvalvonnassa on vähäistä niiden suppean taajuusalueen vuoksi. Käytännössä anturin taajuusalue on 0...200 Hz lähinnä sen pienen dynamiikan takia. Siirtymäanturin kiinnitys asettaa myös rajoituksia sen käytölle. Anturin pitää kiinnittää kiinteästi, mutta se ei saa koskettaa mitattavaan komponenttiin. (sama)

3.5.2 Nopeusanturit

Perinteisen nopeusanturin tekniikka perustuu seismiseen massa. Massa värähtelee jousen ja vaimentimen varassa, ja massan liike voidaan muuttaa sähköiseen muotoon. Nopeusanturin taajuusalue on laajempi kuin siirtymäanturin, luokkaa 10...1000Hz. (sama, 236)

Ongelmia seismisen nopeusanturin käytössä ovat anturin suurehko koko sekä herkkyyys magneettikentille. Anturin liikkuvat osat aiheuttavat rajoituksia lähinnä käyttöiälle. Nopeusantureiden käyttö onkin nykypäivänä vähäistä, lukuun ottamatta suurempia koneita. (sama, 237)

3.5.3 Kiihtyvyysanturit

Nykypäivänä yleisin anturityyppi värähtelymittauksessa on kiihtyvyysanturi. Verrattuna em. antureihin, pietsosähköisissä kiihtyvyysantureissa on runsaasti etuja: ei liikkuvia osia, ei herkkä ympäristölle, pienikokoinen, helppo asentaa ja taajuusalue on laaja, nolasta satoihin kilohertzeihin. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 237)

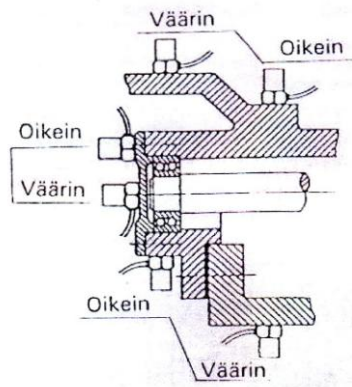
Kiihtyvyysanturin toiminta perustuu massan hitauteen ja pietsosähköisen elementin ominaisuuteen. Laitteeseen kiinnitetty anturi värähtelee samalla tavalla kuin mitattava laite. Anturin sisällä on pietsoelementti, jonka sisässä on pieni massa. Värähtely saa massan liikkumaan edestakaisin, jolloin se joko puristaa tai venyttää pietsoelementtiä. Elementtiin syntyy varaus, joka on suoraan verrannollinen anturin kiihtyvyyteen. Tämä varaus vahvistetaan ja muutetaan anturista riippuen virta- tai jänniteviestiksi. (Nohynek & Lumme 2007, 46)

3.5.4 MEMS-anturit

MEMS-anturissa on yhdistetty mikroelektroniikkaa ja -mekaniikkaa. Tämä mahdollistaa älyn lisäämisen antureihin, jonka avulla analysointia voidaan tehdä jo anturissa. MEMS-antureiden hyödyntäminen kunnonvalvonnassa on ollut vahvassa kasvussa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 244)

3.6 Anturin paikka ja kiinnitys

Mittauspiste valitaan siten, että värähtelylähde ja mittausanturi ovat mekaanisesti mahdollisimman lähellä toisiaan. Rajapintoja värähtelylähteen ja anturin välillä tulisi olla mahdollisimman vähän. Yleensä tämä käytännössä tarkoittaa, että anturi kiinnitetään laakerin kohdalle runkoon. (PSK 5702)



Kuva 6. Anturi tulee asettaa mahdollisimman lähelle värähtelylähdettä, ja välillä tulisi olla mahdollisimman vähän rajapintoja(PSK 5702)

Kiinnitystavalla on suuri merkitys tarkkuudelle, minkä mittaus voi saavuttaa. Mahdollisia kiinnitystapoja on mm. ruuvikiinnitys, magneetti, erilaiset nipat, liimaus sekä käsin tehtävä koetinpuikkomittaus.

Kiinteä mittaus tehdään yleensä ruuvikiinniteteisellä anturilla. Oikein toteutettuna ruuvikiinnitys ei rajoita taajuusaluetta, eli voidaan luotettavasti mitata korkeitakin taajuuksia. Ruuvikiinnitys voidaan tehdä suoraan, nipan välityksellä tai käyttämällä kierrealuslevyä. (PSK 5703)

Kannettavalla mittalaitteella mitattaessa käytetään yleensä magneettikiinnitystä. Ensimmäisestään magneettikiinnitys pyritään tekemään suoraan mitattavan laitteen pinnalle. Jos suoraan kiinnitys ei ole mahdollista, esimerkiksi jos mitattava laite ei ole ferromagneettinen, voidaan kiinnitys tehdä nipan tai aluslevyn välityksellä. Magneettikiinnitys rajoittaa jonkin verran taajuusaluetta riippuen anturin massasta magneetin voimakkuudesta sekä kiinnityspinnan laadusta ja puhtaudesta.(PSK 5703)

Muita standardin PSK 5703 mukaisia kiinnitystapoja ovat käsin, mehiläisvahalla, liimalla, pikakiinnittimellä tai käyttämällä mekaanista suodatinta.

4 VÄRÄHTELYMITTAUKSEN KÄYTTÖ KOHTEISSA

Ifm:n toimittaman kiinteän kunnonvalvontajärjestelmän pilottikohteiksi valittiin kolme hyvin erilaista kohdetta. Valinnan perusteena oli kriittisyysluokittelu. Nauhavalssaamon vesilaitoksen kriittisyysluokittelu on tehty kesäkuussa 2011 standardin PSK 6800 mukaan.

Pilottikohteet ovat hihnakäyttöinen päämoottorin puhallin, vesipumppu sekä jäähdytystornipuhallin. Päämoottorin puhallin sijaitsee moottorihuoneen kellarissa, lämpimässä ja suhteellisen puhtaassa ympäristössä. Pumpun ympäristössä lämpötila vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Samassa tilassa on paljon muitakin pumppuja, jotka osaltaan vaikeuttavat yksittäisen pumpun kunnonvalvontaa.

Tornipuhaltimen ympäristöolosuhteet muuttuvat oleellisesti vuodenaikojen ja sään mukaan, koska se sijaitsee vesilaitoksen katolle, missä lämpötila vaihtelee helteistä pakkasiin. Myös runsas vesihöyry, lumi- ja vesisateet sekä ilman epäpuhtaudet asettavat omat haasteensa mittaukselle ja mittalaitteiden kestävyydelle.

4.1 Päämoottorin puhallin

Nauhavalssainten päämoottoreita jäähdytetään kahdella puhaltimella. Valvottavaa puhallinta pyörittää hihnavälityksellä 160 kW oikosulkumoottori. Moottori ja puhallin on kiinnitetty yhteiseen betonilaattaan, joka makaa kumitassujen päällä. Alustana toimivaa betonilaattaa ei ole siis kiinnitetty kiinteästi mihinkään.

Tuotantoa voidaan ajaa yhdellä puhaltimella rajoitetusti. Toisen puhaltimen ollessa epäkunnossa lämpöjen nousemista suuremmaksi ongelmaksi muodostuu likaantuminen. Tämä johtuu siitä, ettei ilma kierrä tarpeeksi ja moottoreista irtoava hiilipöly jää moottorin sisälle. (Aherto 2.5.2012, haastattelu)

Puhaltimen vikaantumismekanismeja ovat laakeriviat, likaantumisesta johtuva epätasapaino sekä voitelun puutteesta johtuvat viat. Lisäksi asennusvirheistä johtuvat linjausvirheet ovat mahdollisia. (Lehtosaari 7.3.2012, haastattelu)

Koska kyseessä on hihnakäyttöinen puhallin, voidaan värähtelymittauksen avulla havaita myös hihnan ja hihnapyörän kunnan heikkenemistä. Poikkeamia värähtelytasoihin voivat aiheuttaa asennusvirheet, hihnapyörän kunto ja geometria sekä hihnan kireys ja kunto. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 325)

Värähtelytason nousu hihnataajuudella ja sen monikerroilla voi johtua kuluneesta, löysästä tai sopimattomasta hihnasta. Hihnataajuutta voi ilmetä myös hihnapyörän epäedullisesta geometriasta, jos se aiheuttaa venymisvaihtelua hihnassa. Soikea hihnapyörä aiheuttaa värähtelyä myös hihnapyörän pyörimistäajuudella. (sama, 325)

4.2 Pumppu positio 13.1

Position 13 pumput pumppaavat vettä nauhan jäähdytysvesialtaasta jäähdytystorneille. Kaikki kolme pumppua ovat samanlaisia ja normaalitilanteessa kaksi pumppua on käynnissä. Ajettaessa erikoistuotteita tarvitaan kaikkien pumppujen kapasiteetti. Erikoistuotteiden tuotantomäärän lisääntyessä pumppujen toimivuus on yhä kriittisempää. (Jortama 2.5.2012, haastattelu)

Pumppu on suoravetoinen, eli pumppua pyörittävällä sähkömoottorilla ja pumpulla on yhteinen akseli. Moottorin teho on 200kW ja normaali pyörimisnopeus on noin 1500 kierrosta minuutissa.

Pumpun osalta värähtelymittauksella pyritään havaitsemaan epätasapainoa sekä vikoja laakereissa, kytkimessä ja roottorissa. Myös kavitaatio voidaan havaita mittauksella. (Lehtosaari 7.3.2012, haastattelu)

Laakeri voi vioittua useasta eri syystä, kuten epäpuhtauksien, ylikuormituksen tai asennusvirheen takia. Jatkuvan värähtelymittauksen avulla laakeriviat voidaan havaita jopa kuukausia ennen laakerin totaalista hajoamista. Laakerin hajoaminen voi aiheuttaa pitkän huoltoseisokin vahingoittamalla muita kone-elimiä, kuten akselia. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 311)

Laakereita löytyy kaksi pumppua pyörittävästä sähkömoottorista sekä kolme itse pumpusta (Koivumaa 15.2.2012, sähköpostiviesti). Anturit on asennettu laakereiden kohdalle niin, että kolmella laakerilla on oma anturi sekä kahdella vierekkäisellä laakerilla yhteinen.

4.3 Tornipuhallin positio 40.1

Teräsnauha jäähdytetään valssauksen jälkeen vesiverhoilla ja vesi pumpataan takaisin jäähdytysvesialtaaseen. Nauhan jäähdytysvesialtaan veden lämpötilan nouseminen estetään jäähdytystorneilla. Suoran jäähdytyksen torneja on viisi, joista normaalisti neljä pidetään käynnissä. Kesällä ja erityisesti kostealla ilmalla kaikkien puhaltimien kapasiteetti tarvitaan häiriöttömän tuotannon takaamiseksi. (Jortama 2.5.2012, haastattelu)

Tornipuhaltimen 5-siipistä roottoria pyörittää kulmavaihteen välityksellä 90 kW taajuusmuuttajakäyttöinen moottori. Kulmavaihteen ja moottorin välissä on nivelakseli. Kulmavaihteessa on kaksi pystyakselia, eli siinä on kaksi hammasvälitystä. Vaihteiston kokonaisvälityssuhde on 7,1.

Tornipuhaltimen osalta kunnonvalvonnalla on myös turvallisuusnäkökulma. Särkyessään tornipuhallin voi aiheuttaa huomattavaa aineellista vahinkoa ja vaaraa ihmisille. (Lehtosaari 7.3.2012, haastattelu) Reaaliaikaisella ja automaattisella kunnonvalvonnalla kunnon heikkenemisestä saadaan riittävän ajoissa tieto.

Tornipuhallin sijaitsee ulkona, vesilaitoksen katolla. Tämä altistaa moottorin, vaihteiston sekä roottorin vesi- ja lumisateille, lämpötilan vaihteluille sekä erilaisille epäpuhtauksille.

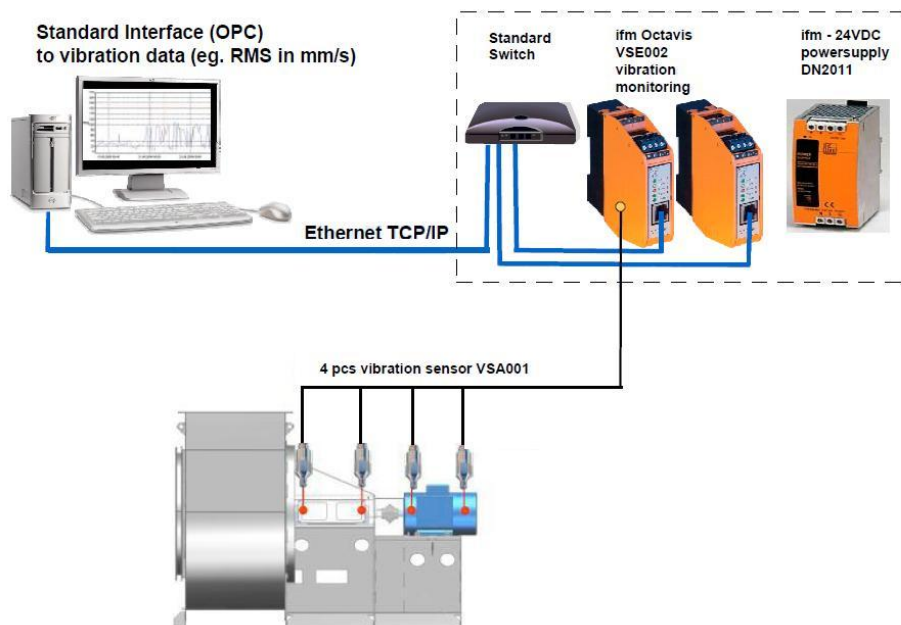
Epätasapainoa voivat aiheuttaa paitsi likaantuminen myös jään kertyminen rakenteisiin. Kuten kahdessa edellisessä kohteessa, laakerit ovat yksi vikaantumismahdollisuus. Laakereita löytyy kaikkiaan 8 kappaletta, kaksi moottorista ja kuusi kulmavaihteesta.

Kahdesta edellisestä poiketen tästä valvontakohteesta löytyy lisäksi hammasvälityksiä. Vaihteiden kunnonvalvonta on yleensä vaikeampaa, suuremman komponenttimäärän takia. Mahdollisia vikoja ovat mm. kuluneet tai vaurioituneet hammaspyörät, virheellinen hammasvälitys sekä hammaspyörien epäkeskeisyys tai linjausvirhe. (PSK 5707)

5 MITTAUS

Kiinteällä kunnonvalvontajärjestelmällä on tavoitteena mitata värähtelytasoa ja päätellä mittauksista laitteen kuntoa. Mittaus tapahtuu ifm electronicin toimittamalla järjestelmällä. Neljä MEMS-teknologiaan perustuvaa kiihtyvyyssanturia on kiinnitetty ruuvi-kiinnityksellä mitattavaan laitteeseen. Anturi lähettää virtaviestinä mittaustietoa diagnostiikkayksikölle (ifm electronic 2007, 25).

Antureiden lisäksi mitattaviin laitteisiin on asennettu takometri mittaamaan pyörimisnopeutta, koska pyörivässä laitteessa värähtelytaso riippuu kierrosluvusta (Nohynek & Lumme 2007, 107). Takometri on liitetty diagnostiikkayksikköön, jolloin nopeustietoa voidaan hyödyntää jo mittaustilanteessa.



Kuva 7. Kohteen valvontaan tarvittava laitteisto: 4 kiihtyvyyssanturia, yksi diagnostiikkayksikkö ja virtalähde, kaapelointi antureilta yksikölle, verkkokaapeli sekä tietokone tulosten katseluun ja analysointiin. (Ifm electronic 2007)

Diagnostiikkayksikkö sekä virtalähde ovat sijoitettu tiiviiseen kaappiin lähelle mittauskohdetta. Diagnostiikkayksikkö on liitetty verkkoon, joten mittausdataan pääsee käsiksi

kyseisessä verkossa, kun tietää IP-osoitteen. Asennusten jälkeen kaappia ei tarvitse avata kuin mahdollisten huoltotoimenpiteiden takia.



Kuva 8. Virtalähde ja diagnostiikkayksikkö ovat sijoitettuna tiiviiseen kaappiin lähelle mitattavaa kohdetta.

Diagnostiikkayksikkö tallentaa historiadataa automaattisesti. Jälkeenpäin nähdään vain tämä historiadata määritellyistä objekteista. Spektri näkyy reaaliajassa, ja sitä voidaan tallentaa käyttäjän toimesta myöhempää vertailua varten.

5.1 Mittausparametrit

Mittausparametrien valinta on tehty lähteissä mainitun kirjallisuuden pohjalta soveltaen, yhteistyössä valsaamon kunnonvalvontaryhmän kanssa. Tavoitteena on saada mahdollisimman laaja ja tarkka kuva laitteen kunnosta ja kunnan kehittymisestä. Mittausparametrien valinnassa auttaa oleellisesti, jos laitteesta on tiedossa mahdolliset vikaantumismekanismit.

Reaaliajassa voidaan seurata spektriä ohjelman avulla, mutta oleellinen osa kunnonvalvontaa on historiadata, joka tallentuu diagnostiikkayksikön muistiin. Tämän avulla voidaan suorittaa trendivalvontaa. Spektrivalvonnan avulla nähdään tarkemmin vian kohdetta ja laatua.

Kaikissa mittauksissa käytetään Hanning-painotusikkunaa ja resoluutiota 1,526 Hz. Painotusikkuna tulee perusasetuksena ifm:n järjestelmästä (ifm electronic 2007, 19). Resoluutio on oletusasetuksena 1,526 Hz, eikä sitä nähty tarpeelliseksi muuttaa.

5.1.1 Päämoottorin puhaltimen mittausparametrit

Vikaantumismekanismien pohjalta päämoottorin puhaltimen mittausparametrit ja valvontaobjektit rakennetaan niin, että voidaan havaita epätasapaino ja laakeriviat. Epätasapaino voi johtua monestakin eri syystä ja se ilmenee pyörimistaajuuudella ja sen monikerroilla. Laakeriviat näkyvät verhoikäyrässä laakerin eri komponenttien ominaistajuuksilla. (PSK 5707) Anturit on kiinnitetty ruuvikiinnityksellä laakereiden kohdalle.

Yksi päämoottorin puhaltimen vikaantumismekanismeista on likaantuminen, joka aiheuttaa epätasapainoa. Epätasapainoa voidaan mitata värinäräsituksella, jossa tarkastellaan FFT-käsiteltyä nopeusspektriä taajuusalueella 10–1000 Hz. Signaalin käsittelyssä käytetään keskiarvostusta $\frac{1}{4}$, joka tarkoittaa, että näytettävässä spektrissä on yhdistettynä neljän peräkkäisen mittauksen keskiarvo.

Laakereiden vikataajuuksia valvotaan verhoikäyräspektrillä, ifm:n aineistossa demodulated curve signals. Valvontaohjelman tietokannasta on poimittu oikea laakerinumero anturikohtaisesti. Keskiarvostusarvo on $\frac{1}{1}$, eli keskiarvostusta ei ole käytetty. Resoluutio on 1,526 Hz, joka tarkoittaa, että spektrin näyttämän tarkkuus on 1,562 Hz. Kaistanpäästösuodatus (en. band-pass filter) tehdään taajuusvälille 450 - 5950 Hz.

Taulukko 1. Päämoottorin puhaltimen anturikohtaiset valvontaobjektit. Laakerivalvonnan taajuusalueita on kolme valvottavaa laakeria kohden: sisäkehän, ulkokehän ja kuulien ominaistajuuudet. Laakeritiedot on haettu Arttu-järjestelmästä 14.3.2012.

Anturi	Valvonta objekti	Analyysi- menetelmä	RMS/ Peak	Mittaus- yksikkö	Keski- arvostus	Taajuus- alue [Hz]	Suodatin [Hz]	Laakeri- numero
M01	RMS	FFT	RMS	mm/s	$\frac{1}{4}$	10–1000	ei mitään	6319
	laakeritaajuuudet	H-FFT	Peak	mg	$\frac{1}{1}$	useita	450–5950	
M02	RMS	FFT	RMS	mm/s	$\frac{1}{4}$	10–1000	ei mitään	6322
	laakeritaajuuudet	H-FFT	Peak	mg	$\frac{1}{1}$	useita	450–5950	
L03	RMS	FFT	RMS	mm/s	$\frac{1}{4}$	10–1000	ei mitään	2311
	laakeritaajuuudet	H-FFT	Peak	mg	$\frac{1}{1}$	useita	450–5950	
L04	RMS	FFT	RMS	mm/s	$\frac{1}{4}$	10–1000	ei mitään	2311
	laakeritaajuuudet	H-FFT	Peak	mg	$\frac{1}{1}$	useita	450–5950	

5.1.2 Pumpun mittausparametrit

Pumpun moottoria valvotaan kahdella anturilla, joista toinen on asennettu vapaanpään (N) laakerin ja toinen käyttöpään (D) kohdalle vaakaan. Molemmissa antureissa on kaksi valvontaobjektia, toinen yleisen tärinärasituksen mittaamiseen sekä toinen laakerivalvontaan.

Myös itse pumpppua valvotaan kahdella anturilla. Sekä pumpun että moottorin anturit on kiinnitetty suoraan runkoon ruuvikiinnityksellä. Pumpussa on yhteensä kolme laakeria, joista kaksi samanlaista sijaitsevat vierekkäin. Näiden kohdalla on toinen pumpppua mittaavasta antureista. Tärinärasituksen ja laakerivalvonnan lisäksi pumpppua mittaavilla antureilla on kolmas valvontaobjekti, jolla pyritään havaitsemaan mahdollinen kavitointi. Kavitointi näkyy yleensä laajakaistaisena värähtelynä korkeammilla taajuuksilla (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009, 321).

Kokonaistärinätasolla (RMS) valvotaan koneen kuntoa yleisesti. Valvottavalta taajuuksialueelta, 10-1000Hz, löytyy esimerkiksi pyörimistaajuus ja sen monikerrat. Moottorin pyörimisnopeus on noin 1500 kierrosta minuutissa, jolloin pyörimistaajuus on 25 Hz. Järjestelmä saa nopeustiedon takometrilta. Pyörimistaajuuden kohonnut amplitudi voi johtua mm. epätasapainosta, laitteen tai kytkimen asennusvirheestä tai mekaanisesta välyksestä (sama, 586).

Taulukko 2. Pumpun anturikohtaiset valvontaobjektit. Laakerivalvonnan taajuuksialueita on kolme valvottavaa laakeria kohden: sisäkehän, ulkokehän ja kuulien ominaistaajuuudet. Kavitointia valvotaan laajalla kaistalla taajuuksialueella 2000-4000Hz.

Anturi	Valvonta objekti	Analyysi- menetelmä	RMS/ Peak	Mittaus- yksikkö	Keski- arvostus	Taajuus alue [Hz]	Suodatin [Hz]	Laakeri- numero
M01	RMS	FFT	RMS	mm/s	1/4	10-1000	ei mitään	6316
	laakerिताajuudet	H-FFT	Peak	mg	1/1	useita	450–5950	
M02	RMS	FFT	RMS	mm/s	1/4	10–1000	ei mitään	6319
	laakerिताajuudet	H-FFT	Peak	mg	1/1	useita	450–5950	
P03	RMS	FFT	RMS	mm/s	1/4	10–1000	ei mitään	7314
	laakerिताajuudet	H-FFT	Peak	mg	1/1	useita	450–5950	
	Kavitointi	FFT	RMS	mg	1/1	2k-4k	ei mitään	
P04	RMS	FFT	RMS	mm/s	1/4	10–1000	ei mitään	2 kpl NUP313
	laakerिताajuudet	H-FFT	Peak	mg	1/1	useita	450–5950	
	Kavitointi	FFT	RMS	mg	1/1	2k-4k	ei mitään	

5.1.3 Tornipuhaltimen mittausparametrit

Tornipuhaltimen osalta neljällä anturilla pyritään valvomaan kahdeksaa laakeria, kahta hammasvälitystä, roottorin yleiskuntoa sekä moottorin, vaihteiston ja roottorin kiinnityksiä. Anturit sijaitsevat moottorin vapaa- ja käyttöpään laakereiden kohdalla sekä kulmavaihteessa, toinen käyttävän akselin ja toinen käytettävän akselin kohdalla rungossa. Kiinnitys on tehty runkoon suoraan ruuvikiinnityksellä.

Moottorin osalta valvotaan vain kokonaistärinätasoa sekä laakeritaajuuksia. Puhaltimen anturit on kiinnitetty kulmavaihteeseen, jonka sisällä laakerit ja hammasvälitykset sijaitsevat. Kokonaistärinätason ja laakerivalvonnan lisäksi pyritään havaitsemaan vaihteiston hammasvälitysten vikoja. Useimmat hammasvälityksen vioista ilmenevät kiihtyvyysspektrissä ryntötaajuudella ja sen sivunauhoilla (PSK 5707). Ryntötaajuus on akselin pyörimistaajuuden ja hammasluvun tulo.

Taulukko 3. Tornipuhaltimen anturikohtaiset valvontaobjektit. Laakerivalvonnan taajuusalueita on kolme valvottavaa laakeria kohden: sisäkehän, ulkokehän ja kuulien ominaistaajuuudet.

Anturi	Valvonta objekti	Analyysimenetelmä	RMS/Peak	Mittausyksikkö	Keskiarvostus	Taajuus alue [Hz]	Suodatin [Hz]	Laakerinumero(t)
M01	RMS	FFT	RMS	mm/s	1/4	10–1000	ei mitään	6314
	laakeritaajuuudet	H-FFT	Peak	mg	1/1	useita	450–5950	
M02	RMS	FFT	RMS	mm/s	1/4	10–1000	ei mitään	NU316E
	laakeritaajuuudet	H-FFT	Peak	mg	1/1	useita	450–5950	
L03	RMS	FFT	RMS	mm/s	1/4	10–1000	ei mitään	2x32312 2x32311
	laakeritaajuuudet	H-FFT	Peak	mg	1/1	useita	450–5950	
	Ryntö	FFT	RMS	mg	1/1	290–390	ei mitään	
L04	RMS	FFT	RMS	mm/s	1/4	10–1000	ei mitään	32316 30219
	laakeritaajuuudet	H-FFT	Peak	mg	1/1	useita	450–5950	
	Ryntö	FFT	RMS	mg	1/1	120–320	ei mitään	

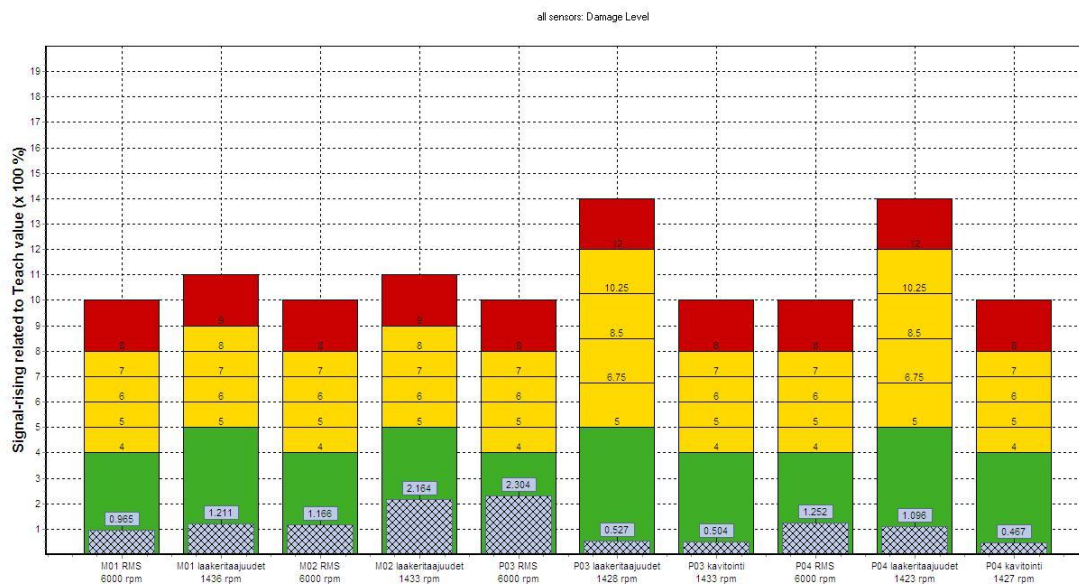
5.2 Mittaaminen VES003–ohjelmalla

Parametrit syötetään jokaiselle kohteelle anturikohtaisesti. Tiedot syötetään käyttämällä parametrintiohjelmaa. Samalla ohjelmalla voidaan tehdä valvontatyötä ja tarkastella historiatietoja. Valvontaan on rakennettu erilaisia näkymiä ja työkaluja. Näistä on ollut pääasiassa käytössä Damage level (Vauriotaso), Spectrum monitoring (Spektrinäkymä)

ja Time-based-History (Aikapohjainen historia). Lisäksi ohjelmasta löytyy Sub objects- ja Objects-näkymä. (ifm electronic 2007, 17–22)

5.2.1 Vauriotaso

Hyvin yksinkertaistetusta kuvasta nähdään kokonaistärinätaso ja hälytysrajat. Arvot eivät ole absoluuttisia mitattuja arvoja vaan vertailulukuja. Kun mittausparametrit ja hälytysrajat on saatu hyvin kohdalleen, on tällä näkymällä helppo seurata laitteen yleiskuntoa.



Kuva 9. Vauriotasot (Damage level). Näkyviin saadaan kerralla kaikki yhden laitteen valvontaobjektit. Kohde on Pumppu pos. 13 ja tallennusaika 2.5.12 kello 9:55.

Näkymään saadaan kerralla yhden laitteen kaikkien antureiden eri valvontaobjektit. Jos hälytykset on kytketty, ensimmäinen hälytys lähtee, kun tärinätaso nousee keltaiselle alueelle. Punaisesta alueesta lähtee toinen hälytys. Hälytysrajat voidaan itse määrittää, tai järjestelmä voidaan opettaa (Teach-in). Tästä näkymästä ei nähdä, millä taajuudella amplitudi on korkealla.

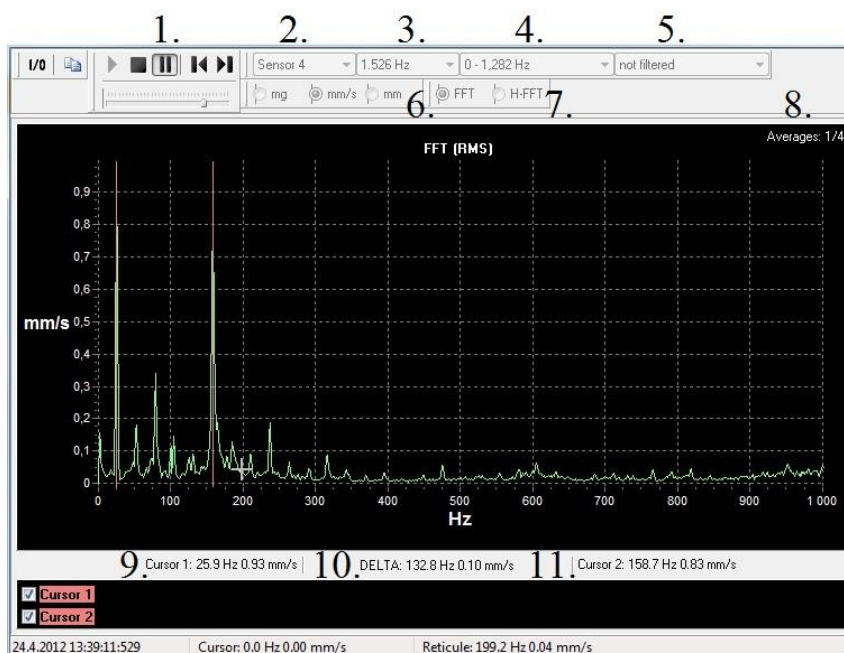
5.2.2 Spektrinäkymä

Spektrinäkymän (Spectrum monitoring) avulla voidaan päästä kiinni mahdolliseen vikaan tai alkavaan vaurioon kiinni tarkemmin. Kuvaaja piirtyy reaaliaikaisesti ja siitä voidaan katsoa, millä taajuudella värinä on koholla.

Näkymää voidaan tallentaa myöhempää tarkastelua ja vertailua varten. Reaalinäkymässä, tallenteessa ja pysäytetyssä kuvassa voidaan käyttää analysointia helpottavia työkaluja, kuten zoomausta ja kursoreita. Lisäksi löytyy työkaluja, joilla voidaan etsiä säännöllisesti toistuvia taajuuksia (Harmonics) sekä sivunauhoja (Sidebands).

Spektrinäkymässä voidaan muuttaa seuraavia asetuksia (ifm electronic 2007, 18–19):

- resoluutio: 0,19 – 24,4Hz
- taajuusalue: arvot riippuvat resoluutiosta
- suodatin
- mittayksikkö: mg, mm/s tai mm
- analyysimenetelmä: FFT tai H-FFT (verhokäyräanalyysi)



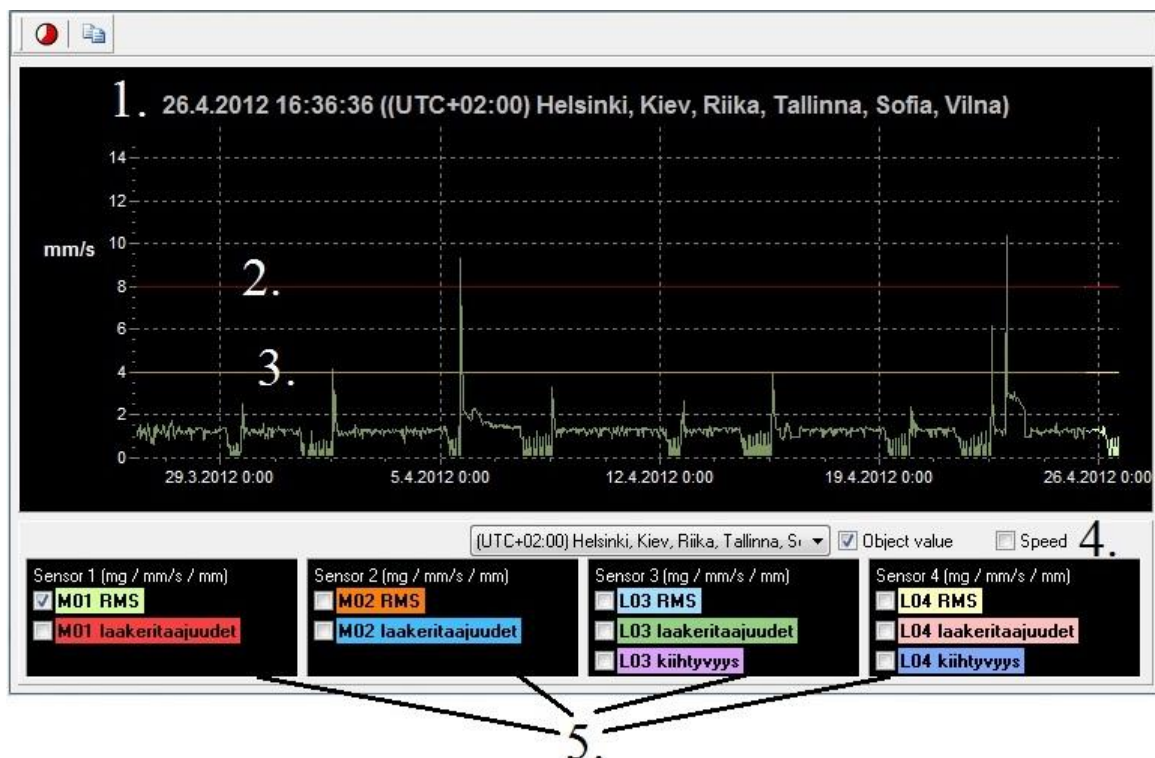
Kuva 10. Spektrinäkymä. 1.Videonhallinta paneeli 2.Anturin valinta 3.Resoluutio valinta 4.Taajuusalueen valinta 5.Suodatuksen valinta 6.Yksikön valinta 7.Signaalinkäsittelyn valinta 8.Keskiarvostus 9.Kursori1 (taajuus ja amplitudi) 10.Kursoreiden erotus 11.Kursori2 (taajuus ja amplitudi) 12.Päivämäärä ja kelloaika

Painotusikkunana käytetään Hanning-funktiota (ifm electronic 2007, 19). Keskiarvostus on oletuksena 1/1 ja amplitudi näytetään huippuarvona (peak). Keskiarvotusta ja amplitudin näyttämää voidaan muuttaa.

5.2.3 Aikapohjainen historia

Aikapohjainen historia on ainoa asia, joka jää automaattisesti muistiin mittauksesta. Järjestelmä mittaa jatkuvasti määriteltyjä asioita ja se tallentaa ne halutuin väliajoin. Näin muodostuu trendi, josta nähdään onko tärinätaso esimerkiksi nousemassa.

Kuvassa 11 näkyy position 13.1 pumpun trendivalvonta moottorin vapaanpään anturilta. Tallennusväli on 45 min, joka tarkoittaa, että ohjelma tallentaa muistiin korkeimman arvon, joka käy tallennusvälin aikana. Kuvaan saadaan näkyviin myös ensimmäinen (keltainen viiva) ja toinen (punainen viiva) hälytysraja.



Kuva 11. Pumpun historia 26.3.–26.4.2012. 1.Tallennusaika 2.Ylempi hälytysraja 3.Alempi hälytysraja 4.Nopeuden lisääminen kuvaajaan 5.Anturin ja objektin valinta

5.3 Hälytykset

Trendivalvontaa voidaan tehdä manuaalisesti mittaajan toimesta. Ohjelmistoon voidaan syöttää myös hälytysrajat, jolloin diagnostiikkayksikkö valvoo automaattisesti ja hälyttää, kun määritetyt rajat ylittyvät. Hälytysten saaminen esim. valvomoon vaatii lisäjärjestelyjä ja mahdollisesti laitehankintoja (katso 7 Jatkokehitys).

Hälytysrajat ovat ohjelmiston asetettujen oletusten mukaisia tärinärasitusten ja laakeri-valvontojen osalta. Kiihtyvyyksimittauksiin on käytetty ohjelman Teach-in-toimintoa. Käytännössä se tarkoittaa, että ohjelma tallentaa normaaliksi tasoksi sen tason, mikä opetustilanteessa on, ja määrittää hälytystasot sen mukaan. Hälytysrajat tulee määrittää sopiviksi pidemmän koemittauksen jälkeen, viimeistään siinä vaiheessa kun hälytykset otetaan käyttöön.

5.4 Vertailumittaus

Uuden laitteiston luotettavuuden varmistamiseksi suoritettiin vertailumittaus. Mittaus suoritettiin position 13.1 pumpulle. Ennen vertailumittausta käytiin mittaajien kanssa läpi, mitä mitataan, ja säädettiin parametrit mahdollisimman samanlaisiksi. Vertailukohteeksi otettiin kannettava mittalaite (SKF Microlog), millä on mittaukset tähän asti otettu reittimittauksena.

Mittaukset tehtiin niin, että samaan aikaan tallennettiin uuden, kiinteän järjestelmän spektriä pätkä talteen ja otettiin mittaus kannettavalla mittalaitteella. Vertailumittauksia suoritettiin kahtena päivänä, ensimmäinen 11.4.2012 ja toinen 24.4.2012. Tulokset olivat hyvin samansuuntaisia.

Ensimmäisen päivän mittauksissa otettiin yhteensä 8 mittausta, eli jokaisesta anturista nopeus- ja verhokäyrämittaus. Toisen mittauspäivän mittauksissa otettiin lisäksi kiihtyvyyksimittaus antureiden 3 ja 4 osalta. Mittausten tarkastelussa keskitytään 24.4.2012 otettuihin mittauksiin.

Taulukkoon 4 on kerätty vertailumittauksessa käytetyt parametrit, jotka riippuvat mittavälineestä. Kaikille mittauksille yhteisiä parametreja ovat Hanning-ikkunointi ja keskiarvostusarvo 4. SKF mittaukset on tehty kannettavalla Microlog-laitteella ja anturi on kiinnitetty magneetilla. Ifm:n kiinteässä järjestelmässä anturit on ruuvikiinnityksellä.

Taulukko 4. Vertailumittauksessa käytetyt arvot.

	nopeus		kiihtyvyys		verhokäyrä	
	SKF	IFM	SKF	IFM	SKF	IFM
Yksiköt	mm/s	mm/s	g	mg	gE	mg
Alarajataajuus Hz	10	0	5	0	10	0
Taajuusalue Hz	0-1000	0-1000	0-5127	0-5127	0-1000	0-1000
Ilmaisu	RMS	RMS	RMS	RMS	Huippu	Peak
Resoluutio Hz	1,6	1,526	6,409	6,10	1,60	1,526

6 ANALYYSI

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ifm:n toimittaman kunnonvalvontajärjestelmän soveltuvuutta pilottikohteisiin sekä suorittaa vertailumittausta nykyiseen kannettavalla mittalaitteella suoritettavaan kunnonvalvontaan.

Ensimmäiset anturit oli asennettu ja otettu käyttöön 14.2.2012 päämoottorin puhaltimen ja lämpimän veden pumpun osalta. Kolmanteen kohteeseen, eli tornipuhaltimelle, viimeiset asennukset tehtiin 19.4.2012. Yhtään komponenttia ei ole tarvinnut vaihtaa, mutta näin lyhyellä koeajalla ei voida antaa lausuntoa komponenttien kestävyydestä. Järjestelmä on kuitenkin toiminut alusta alkaen ongelmitta, sen jälkeen kun kaikki laitteisto- ja ohjelmistoasennukset oli tehty.

Valvontatyökaluna järjestelmä tuntuu helpolta ja yksinkertaiselta käyttää. Ohjelman yksinkertaisuuden ansiosta ei tarvitse olla erikoistunut kunnonvalvontaan saadakseen siitä jotakin irti. Luotettavuus ja kestävyys voidaan testata vain pidemmällä koeajalla.

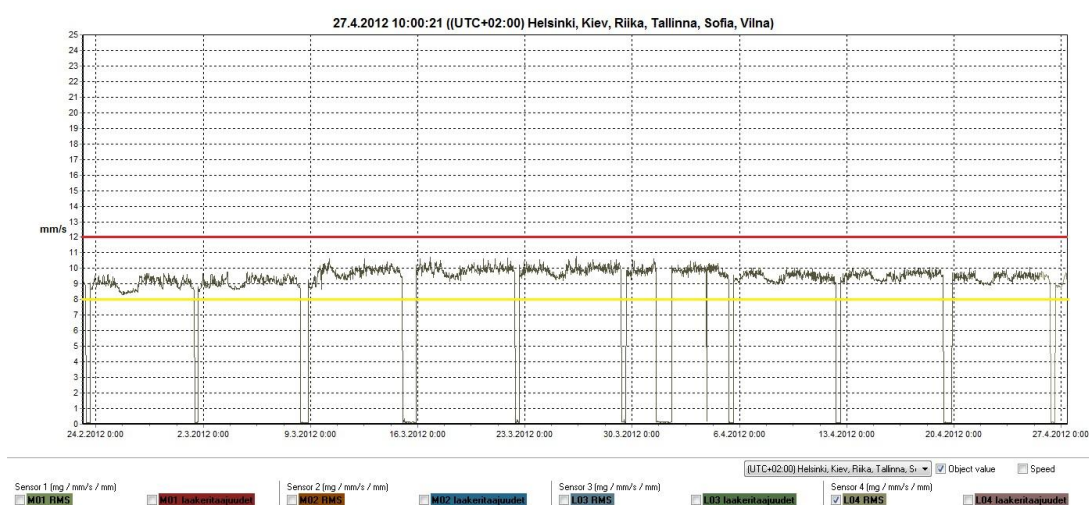
6.1 Havaintoja mittauksista

Tulosten analysoinnissa keskitytään pumpun ja päämoottorin puhaltimen mittauksiin. Raporttia kirjoittaessa tornipuhaltimen mittaus oli ollut käynnissä niin lyhyen ajan, ettei julkaistavia tuloksia ole kertynyt. Parametrit on tallennettu diagnostiikkayksikköön ja niiden toimivuus sekä soveltuvuus varmistetaan lyhyen mittausjakson jälkeen.

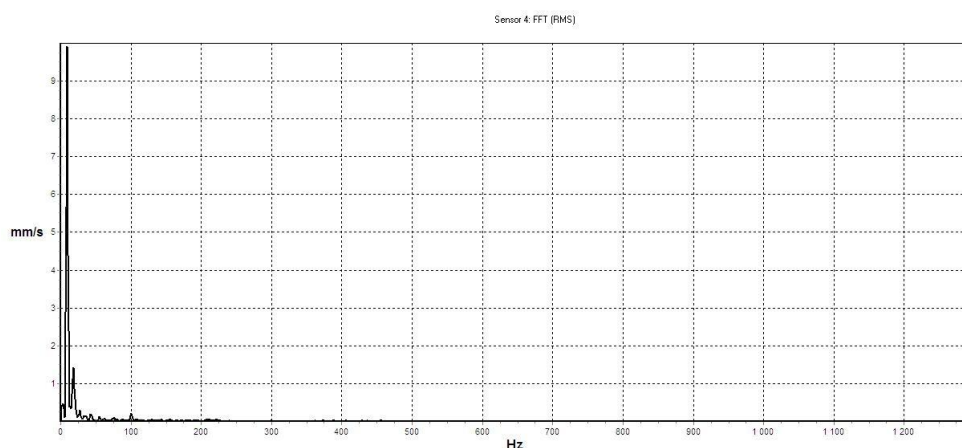
Yhtäjaksoista vertailukelpoista historiatietoa on kertynyt puhaltimelle 23.2.2012 saakka. Vastaavasti pumpulta löytyy historiaa maaliskuun 23.päivästä saakka. Yhtään selkeää vikaa, jonka korjaamisen vaikutus olisi näkynyt mittaustuloksessa, ei mittausten aikana ilmennyt.

6.1.1 Päämoottorin puhaltimen kokonaistärinätaso

Kuvassa 12 näkyy historiatieto päämoottorin puhaltimen neljänneltä anturilta L04. Kokonaistärinätaso on mittauksen mukaan erittäin korkea. Tässä ensimmäinen hälytysraja on määritely 8 mm/s, jonka yli tärinärasitus on koko ajan. Standardin PSK 5704 mukainen hälytysalueen raja on 7,1 mm/s ko. tyypin puhaltimille. Kuvassa näkyvän kahden kuukauden aikana trendi ei ole kuitenkaan nouseva. Syytä korkealle tärinärasitukselle voidaan pyrkiä analysoimaan vastaavan valvontaobjektin spektristä, kts. Kuva 13.



Kuva 12. Trendivalvonta eli aikapohjainen historia päämoottorinpuhaltimen L04 -anturilta. Valittu valvontaobjekti on RMS, eli kokonaistärinätaso.



Kuva 13. Päämoottorinpuhaltimen nopeusspektri anturilta L04. Tallennusaika 27.4.2012.

Spektrikuvaajasta (Kuva 13) nähdään, että korkea värinätaso johtuu pelkästään korkeasta amplitudista matalilla taajuuksilla. Kursorin avulla ohjelmasta nähdään, että amplitudillaan korkein taajuuspiikki on 9,2 Hz, joka on juuri puhaltimen ja käytettävän hihnapyörän pyörimistaajuus. Puhallin pyörii 554 kierrosta minuutissa. Toinen, matalampi piikki on pyörimistaajuuden toinen kerrannainen 18,4 hertsiä. Korkea amplitudi pyörimistaajuudella voi johtua mm. hihnan resonanssista, hihnapyörien linjausvirheestä, kuluneista tai löysistä hihnoista sekä epätasapainosta.

Värinätaso voi nousta korkeaksi myös, jos pyörimistaajuus toimii herätteenä ja alustan ominaistaajuus vasteena, jolloin syntyy resonanssi-ilmiö. Standardin PSK 5708 mukaan mikään resonanssitaajuus ei saa sijaita käytettävien pyörimisnopeuksien alueella eikä sen läheisyydessä. Yleensä ero tulisi olla vähintään 20 %. Mitattava puhallin on kiinnitetty yhdessä moottorin kanssa betonilaattaan, joka makaa kumitassujen päällä. Samat kumitassut ovat olleet käytössä jo useita vuosia, jolloin kumimateriaali on voinut kovettua. Kovettunut kumi ei vaimenna koneen värähtelyä enää suunnitellusti.

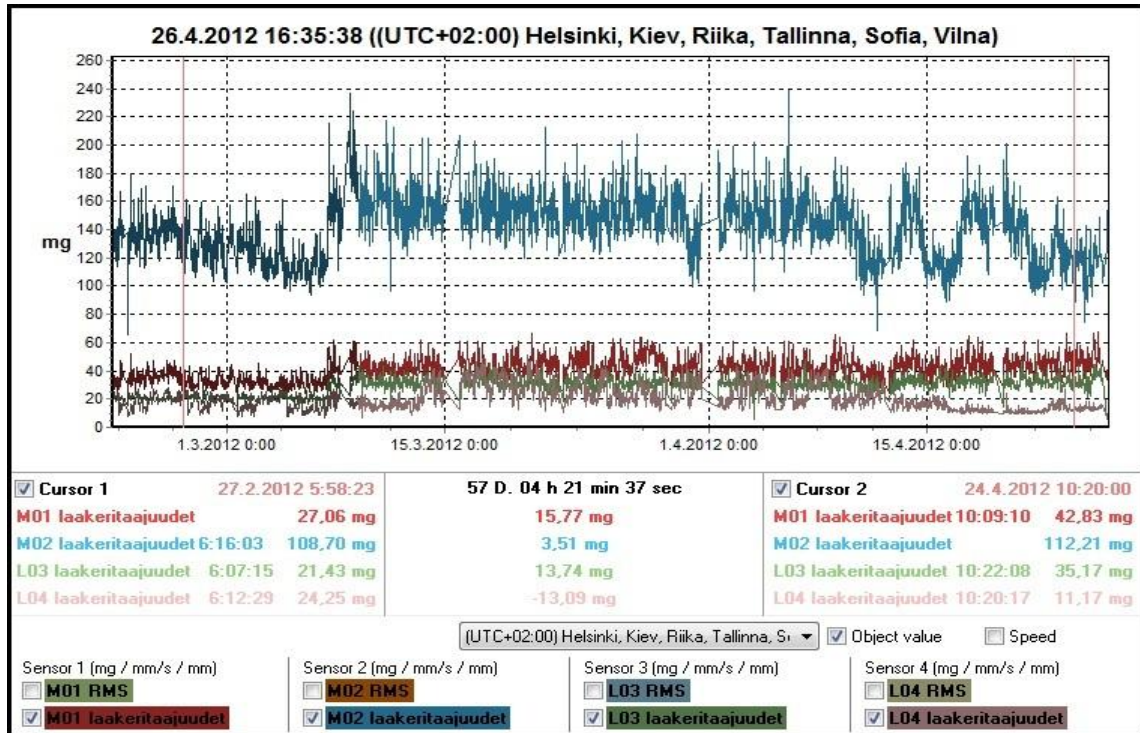
Päämoottorin puhaltimen korkean värinätason aiheuttaa viasta tai laitteen ominaisuudesta johtuva ongelma. Ongelman löytämiseksi voidaan kokeilla esimerkiksi kiristää tai vaihtaa hihnat, uusia kumitassut tai suunnitella laitteen perustus kokonaan uudelleen. Yksi vaihtoehto on lisätä moottorille taajuusmuuttaja, jolloin voidaan kokeilla eri pyörimisnopeuksia.

6.1.2 Päämoottorin puhaltimen laakerivalvonta

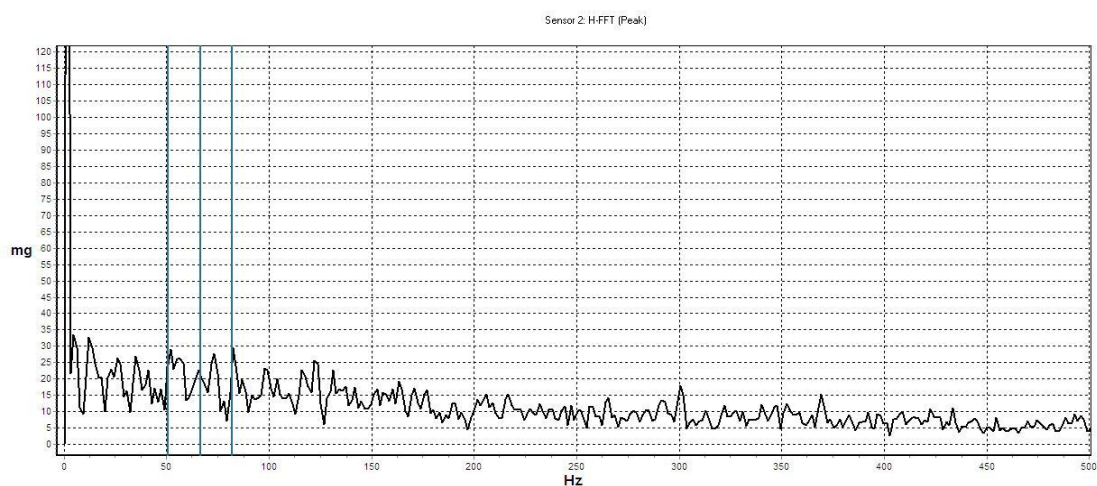
Päämoottorin puhaltimen moottorin käyttöpään laakeritaajuudet ovat huomattavasti korkeammalla verrattuna laitteen muihin laakereihin, katso Kuva 14. Taso ei kuitenkaan ole hälyttävän korkea. Trendi ei ole myöskään ylöspäin. Kuvassa näkyvien kursorien avulla nähdään, että reilussa 57 päivässä taso ei ole käytännössä muuttunut yhtään.

Verhokäyräspektrissä (Kuva 15) ei näy laakeritaajuuksilla erityisen korkeita piikkejä. Laakeritaajuudet näkyvät sinisinä pystyviivoina, ulkokehä, kuulat sekä sisäkehä erikseen. Laakerivalvonta tapahtuu kapealla kaistalla näiden taajuuksien ympärillä. Verhokäyrävalvonnalla ei pyritä selvittämään yhdellä mittauksella mahdollista laakerivikaa,

vaan valvonta perustuu pidempää mittaukseen ja trendin seuranta (Nohynek & Lumme 2007, 92).



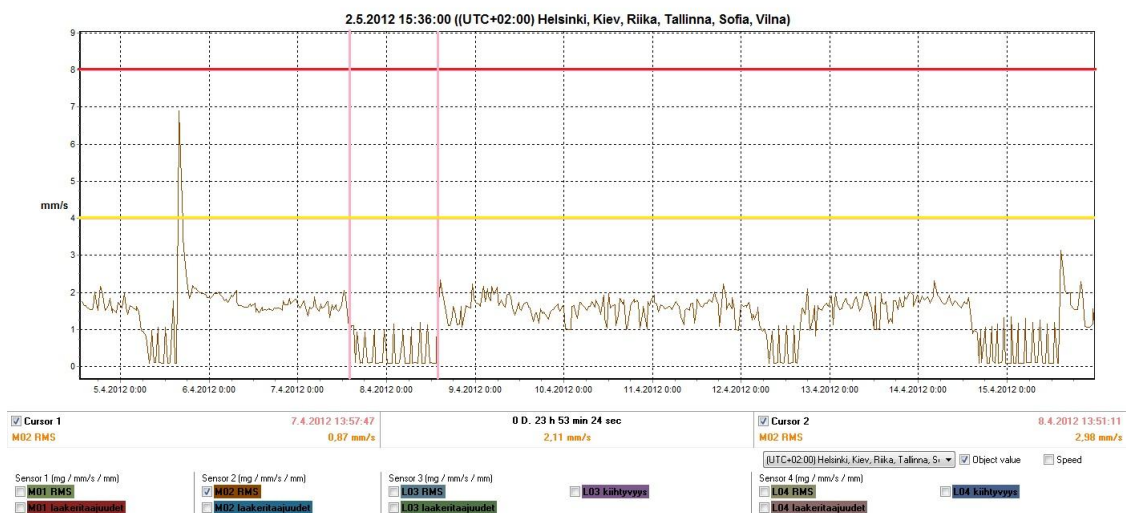
Kuva 14. Päämoottorinpuhallin aikapohjainen historia, kaikkien laakereiden trendivalvonta. Ylin (sininen) kuvaaja on M02 – anturilta. Tallennettu 26.4.2012.



Kuva 15. Verhokäyräspektri päämoottorinpuhalltimen M02-anturilta eli moottorin käytönpään laakerin. Siniset pystyviivat ovat laakeritaajuudet: ulkokehä, kuulat ja sisäkehä. Erityisen korkeita piikkejä ei ole.

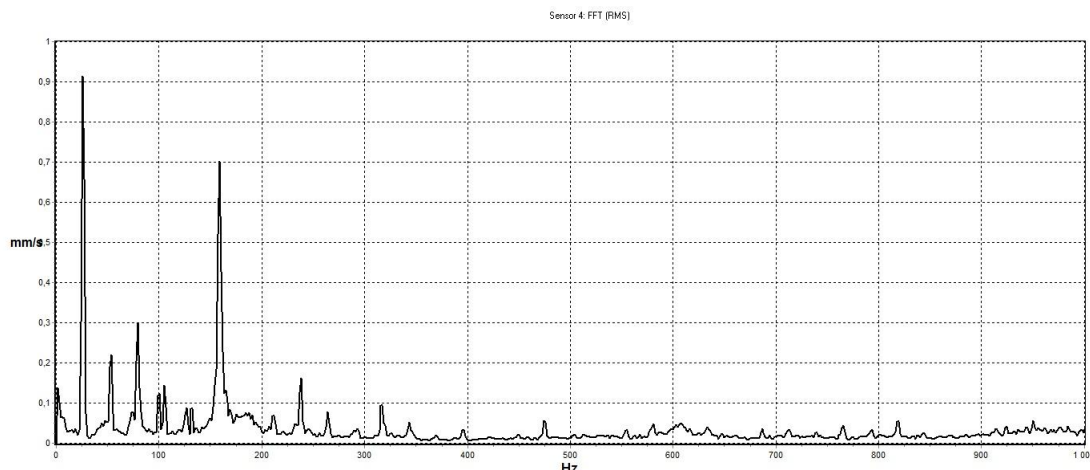
6.1.3 Pumppu positio 13.1 aikapohjainen historia

Position 13.1 pumpun värinätasot ovat yleisesti ottaen matalat (katso Kuva9, s.28). Aikapohjaisesta historiasta nähdään kuitenkin, että joidenkin käynnistysten jälkeen värinätaso käy normaaliin tasoon verrattuna huomattavan korkealla. Käynnistykseen voi liittyä esimerkiksi pumpun kavitointia. Spektritietoa ei vielä ole tallennettuna pumpun käynnistämisestä, josta näkisi, millä taajuudella amplitudi käy korkeammalla. Pumpun antureille lisättiinkin kiihtyvyyssmittaukset, joihin liitettiin valvontaobjekti taajuusvälille n.2000–4000 Hz. Raporttia kirjoittaessa kiihtyvyyssmittausta ei ollut vielä saatavilla käynnistyksestä.



Kuva 16. Pumppu pos.13.1 aikapohjainen historia. Hälytysrajat korostettu kuvankäsittelyohjelmalla.

Pumpun ollessa pysäyksissä näkyy selvästi samassa tilassa olevien pumppujen värinätasot historiadatassa. Lauantaina 7.4.2012 noin kello 14 on lopetettu tuotanto yhdeksi vuorokaudeksi (kuvassa 16 kursoreiden väli). Terävät piikit voivat johtua esimerkiksi lähellä olevien pumppujen takaiskujen toiminnasta.



Kuva 17. Kuvakaappaus Pumppu pos.13.1 P04 nopeusspektri. Keskiarvostus 1/4, amplitudi RMS – arvona. Tallennettu 240412 klo 13:39:07

Kuvassa 17 näkyvä spektri on tallennettu pumpun laakerin anturilta. Spektrissä näkyy selvästi pyörimistaajuus, noin 26 Hz (1560 RPM), ja sen kerrannaisia. Pyörivässä laitteessa pyörimistaajuuden näkyminen on normaalia, ja amplitudi 0,9 mm/s on arvona hyvin matala.

6.2 Vikojen tunnistaminen ja raportointi

Kun järjestelmän avulla havaitaan poikkeamaa, jonka epäillään johtuvan viasta, tarkkaillaan kohdetta tiheämmin ja katsotaan, kuinka nopeasti se kehittyy. Kohteelle voidaan suorittaa myös toisella mittalaitteella tarkistusmittaus. Näin varmistetaan, että vika on todellinen eikä kyse ole esimerkiksi mittausvirheestä. (PSK5707) Jos kyse on esimerkiksi laakerista, voidaan alueen voiteluhuoltomieheltä varmistaa, milloin kohteeseen on viimeksi lisätty voiteluainetta.

Standardin PSK 5707 mukaan vikaa voidaan epäillä, jos värähtelyspektrissä seuraavissa suureissa tapahtuu muutoksia:

- amplitudi pyörimistaajuudella
- harmonisen värähtelyn osuus
- aliharmonisen värähtelyn osuus
- epäharmonisen värähtelyn osuus

- eri komponenttien väliset amplitudisuhteet
- laajakaistainen satunnaisvärähtely
- yksittäiset spektrihuiput
- amplitudi perustaajuudella ja sen monikerroilla
- amplitudi summa- ja erotustaajuudella
- sivunauhojen amplitudi
- värähtelyn voimakkuus eri mittaussuunnissa
- eri komponenttien ja mittaussuuntien vaihe-erot.

Vianmääritykseen voidaan käyttää apuna esimerkiksi edellä mainittua standardia 5707. Siinä on hyvin kattavasti lueteltu laitteiden erilaiset viat ja oireet, kuinka ne näkyvät mittaustuloksissa. Jos vika on todellinen ja se vaatii kunnossapidollisia töitä, tehdään siitä ARTTU-kunnossapitojärjestelmään vikatyö, osoittaen työ oikealle vastaanottajaryhmälle.

6.3 Vertailumittauksen analyysi

Tarkasteltavat vertailumittaukset suoritettiin 24.4.2012 position 13 pumpulle 1. Mittaustulokset antureiden välillä olivat hyvin samansuuntaisia. Seuraavassa tarkastellaan kolmea vertailumittausta, jotka ovat nopeusmittaus moottorin vapaanpään anturilta (M01), verhokäyrämittaus lähimpänä pumpua olevalta anturilta (P04) sekä kiihtyvyysmittaus pumpun ensimmäiseltä anturilta (P03). Graafiset esitykset kyseisistä mittauksista löytyvät liitteistä 1–3.

Kiinteällä ja kannettavalla mittalaitteella mitatut nopeusspektrit (LIITE 1) vastaavat erittäin hyvin toisiaan. Kun otetaan huomioon antureiden erilainen kiinnitystapa ja toimintaperiaate, voidaan sanoa, että tulokset ovat hämmästyttävän samanlaiset. Kiinteän järjestelmän anturi on kiinnitetty ruuvi kiinnityksellä ja toiminta perustuu MEMS-teknologiaan. Kannettavassa mittalaitteessa anturin kiinnitys tapahtuu magneetilla ja anturin tekniikka edustaa perinteisempää kiihtyvyysanturia. Molempien järjestelmien mittauksissa näkyvät selkeästi pyörimistaajuus ja sen kerrannaiset. Lisäksi piikit ovat amplitudeiltaan hyvin yhtenevät.

Verhokäyrämittauksessa (LIITE 2) ensimmäinen ongelma vertailumielessä ilmenee yksiköissä. Kannettavalla tehdyissä mittauksissa käytetään yksikköä gE ja kiinteässä mittauksessa yksikkö mg. Yleistrendit muistuttavat etäisesti toisiaan: matalilla taajuuksilla amplitudien arvot on hiukan korkeammat kuin ylemmillä taajuuksilla. Todennäköisesti verhokäyrän toimivuus voidaan varmistaa vasta, kun laakerivika on päällä, joko odottamalla laakerivikaa mittauksessa oleviin laitteisiin tai kytkeä järjestelmä laitteeseen, jossa tiedetään laakerivikaa olevan. Laakerivalvonta perustuu, kuten kunnonvalvonta pääsääntöisesti muutenkin, pitempi aikaiseen trendin seurantaa.

Kiihtyvyyksimittaus (LIITE 3) poikkeaa oleellisesti kiinteän ja kannettavan mittauksen välillä. Matalilla taajuuksilla noin 1500 hertsiin saakka mittaukset vastaavat toisiaan, mutta 1500 hertsistä ylärajataajuuteen saakka tulokset eivät vastaa lainkaan toisiaan. Sitä, kumpi mittaus on oikeassa vai onko totuus jotain näiden väliltä, ei voida tietää. Kiinteällä järjestelmällä on tarkoitus valvoa pumpun kavitointia juuri taajuusvälillä 2000–4000 Hz, joten toimivuus näillä taajuuksilla tulee jollakin tavalla todeta.

Kaikkien vertailussa tehtyjen mittausten lopputulos oli kuitenkin sama, mitään akuuttia vikaa ei löytynyt, mikä tarvitsisi välitöntä korjausta. Kunnonvalvonta perustuu pitkälle muutosten tarkkailuun, joten yksittäisen mittauksen merkitys on aika vähäinen.

Mielestäni järjestelmä kannattaa jättää mittaamaan, mutta jatkaa kannettavalla mittalaitteella suoritettavia mittauksia, jolloin saadaan vertailupohjaa enemmän. Jos järjestelmä näyttää toimivalta, voidaan kannettavalla tehtävien mittausten aikaväliä harventaa.

7 JATKOKEHITYS

Diagnostiikkayksikölle on asetettu jokaisen valvottavan parametrin kohdalle hälytysrajat. Käytännössä se tarkoittaa, että kun esimerkiksi ensimmäinen eli keltainen hälytysraja ylitetään, diagnostiikkayksikkö lähettää virtaviestin (OUTPUT 1). Yksikkö voidaan liittää automaatioon, jolloin hälytys näkyy ohjaamossa. Ongelma tässä on, että hälytys näkyy listalla muiden hälytysten joukossa, eikä tähän osata välttämättä reagoida oikein.

Toinen vaihtoehto voisi olla tekstiviesti tai sähköpostiviesti määrätuille henkilöille. Tämä vaatii lisälaitteen, joka saatuaan diagnostiikkayksiköltä käskyn välittää ohjelmoidun mukaisen viestin määrättyihin paikkoihin. Tyypilliset kunnonvalvontalaitteella havaitut asiat ovat enteitä viasta, eikä niihin yleensä tarvitse reagoida välittömästi ensimmäisestä hälytyksestä.

Itse hälytysrajat vaativat mahdollisesti säätöä, kun mittausdataa on kertynyt ja laitteita opitaan tuntemaan. Hälytyksistä ei tietenkään ole mitään hyötyä, jos hälytysrajat ovat liian korkealla, eikä hälytyksiä tule, vaikka olisi tarpeen. Toisaalta liian matalalla olevat hälytysrajat aiheuttavat runsaasti turhia hälytyksiä, eikä niihin kohta reagoida mitenkään.

Myös itse parametrien soveltuvuutta on hyvä tarkkailla. Onko jokin valvontaobjekti turhaan viemässä diagnostiikkayksikön muistikapasiteettia, vai onko tarvetta lisätä objekteja paremman kokonaiskuvan saamiseksi?

8 YHTEENVETO

Kolmeen erilaiseen kuumanauhavalssaamon prosessilaitteeseen on asennettu Ifm:n toimittama jatkuvatoiminen kunnonvalvontajärjestelmä. Mittaukset ovat käynnissä ja mitaustietoa sekä kokemuksia on kertynyt.

Suoritettujen vertailumittausten loppupäätelmänä voinee sanoa, että nopeusspektrit olivat hämmästyttävän samannäköisiä. Lisäksi molempien järjestelmien, sekä ifm:n kiinteän, että SKF:n kannettavan antamasta mittaustuloksesta voidaan tehdä sama johtopäätös, eli mitään hälyttävää vikaa ei ollut mittaussajankohtana.

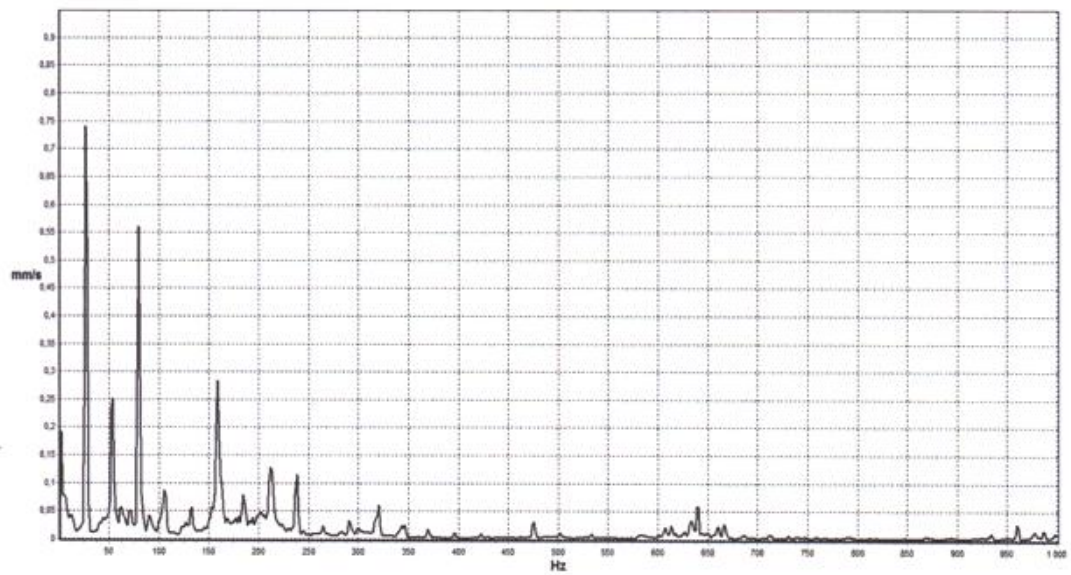
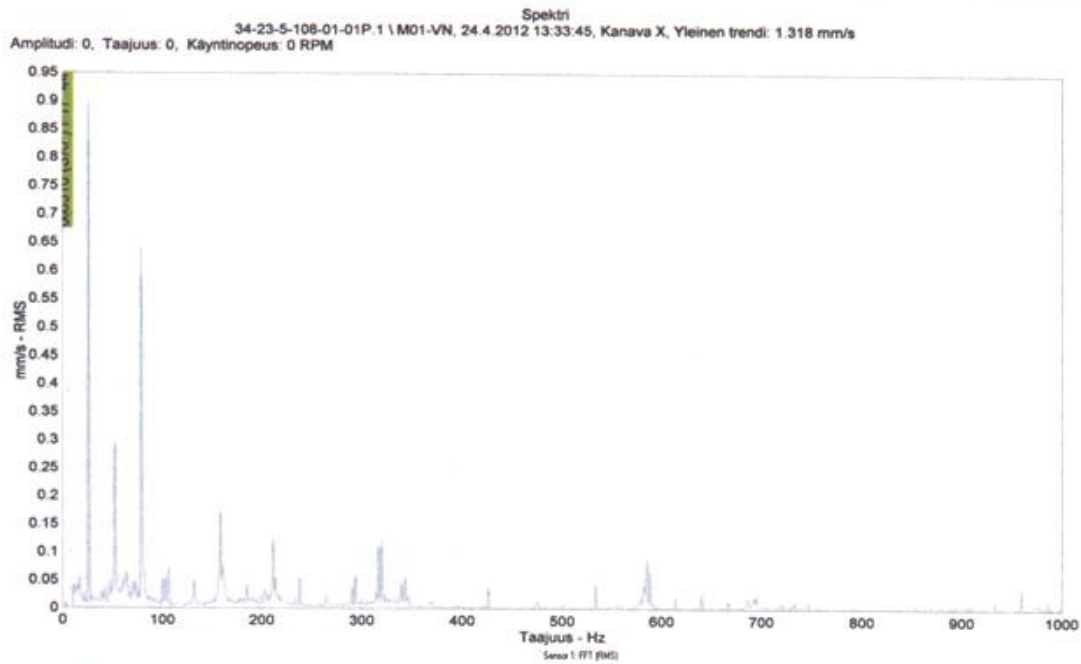
Jatkuvan kunnonvalvonnan avulla voitaisiin huomattavasti harventaa kannettavalla mittalaitteella tehtäviä mittauksia. Suurin hyöty kiinteästä mittauksesta on, jos kannettavalla mittalaitteella tehtäisiin tarkistusmittaus vasta siinä vaiheessa, kun kiinteästä mittalaitteesta tulee hälytys. Näin kunnonvalvojien työaika voitaisiin käyttää tulosten analysointiin, mittausten tekemisen sijaan.

Järjestelmän vaatii kuitenkin pidemmän testausajan, sen luotettavuuden ja mekaanisen kestävyysvarmistamiseksi.

LÄHTEET

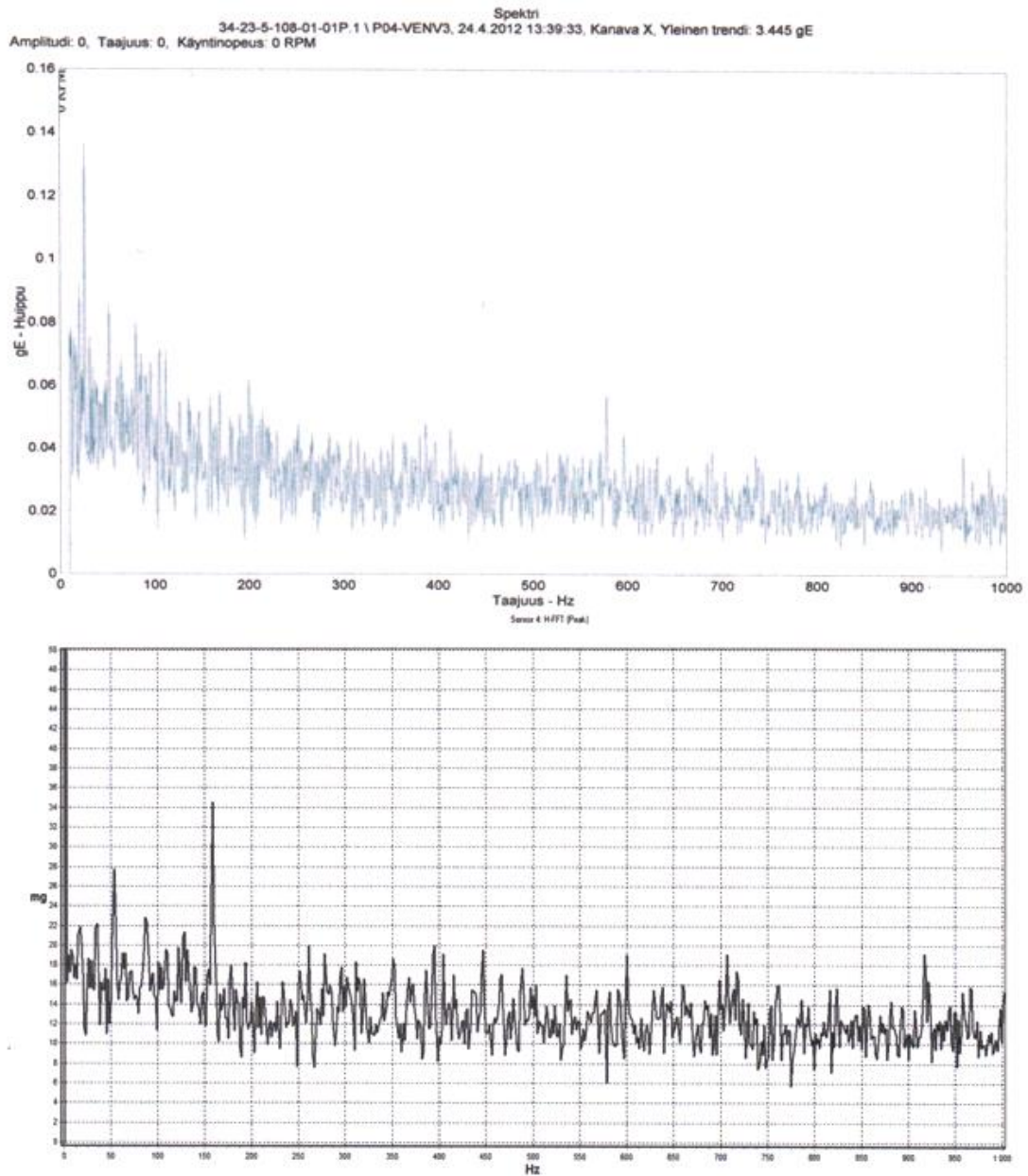
1. Rautaruukki Oyj 2012, <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/> (hakupäivä 14.11.2011)
2. Kaisto, H., 2012. Ruukki Metals Oy, Kuumanauhavalssaamon esittely, PowerPoint -esitys
3. Rautaruukki Oyj 2011, Ruukin teräsluokitus, PowerPoint -esitys
4. Kunnossapitoyhdistys Promaint 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito, käsikirja, Kunnossapidon julkaisusarja – nro 13. 1.painos
5. ABB:n TTT-käsikirja 2000–07
6. Nohynek, P. & Lumme, V. 2007. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset, Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 11, 2.täydennetty painos, 2007 Kunnossapitoyhdistys ry
7. PSK 5702 2007, PSK Standardisointiyhdistys ry, Kunnonvalvonnan värähtelymittaus, mittauspisteen valinta ja tunnistaminen, 3.painos
8. PSK 5703 2006, PSK Standardisointiyhdistys ry, Kunnonvalvonnan värähtelymittaus, anturin, liittimen ja kaapelin valinta sekä asennus 4.painos
9. PSK 5707 2006, PSK Standardisointiyhdistys ry, Kunnonvalvonnan värähtelymittaus, vianmääritys, 5.painos
10. Ifm electronic 2007. Programming manual, software for efector octavis, version 2.6, saatavana <http://www.ifm.com/mounting/704316UK.pdf>
11. Lehtosaari, M., kunnonvalvontainsinööri, Ruukki Metals Oy, Kuumanauhavalssaamo. 2012. Insinööritoimikunta, Lehtosaaren toimisto, 7.3.2012
12. Aherto, K., sähkökunnossapito työnjohtaja, Ruukki Metals Oy, Kuumanauhavalssaamo. 2012. Keskustelu 2.5.2012.
13. Koivumaa, H., 2012. Sähköpostikeskustelu 15.2.2012
14. Jortama, P., tuotantoteknikko, Ruukki Metals Oy, Kuumanauhavalssaamo. 2012. Keskustelu 2.5.2012.
15. PSK 5704 2002, Standardisointiyhdistys ry, Kunnonvalvonnan värähtelymittaus, vastaanottotarkastus ja värähtelyolosuhteet, 6.painos
16. PSK 5708 2003, Standardisointiyhdistys ry, Kunnonvalvonnan värähtelymittaus, rakenteelliset värähtelyominaisuudet, 2.painos

LIITE 1 Vertailumittaus 24.4.2012, nopeusspektri



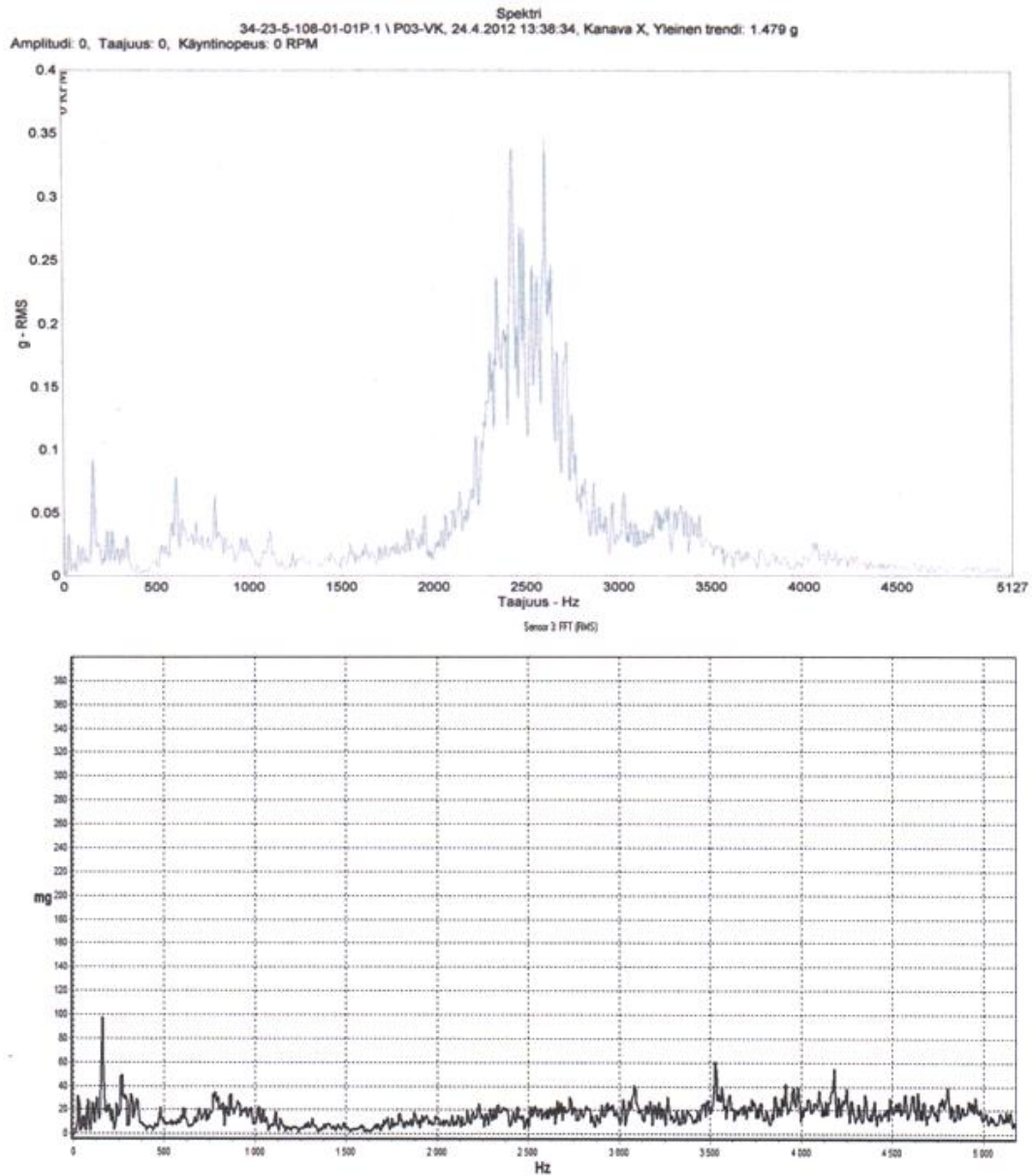
	SKF (kannettava)	IFM (kiinteä)
Anturin kiinnitys	Magneetti	Ruuvi
Mittausaika	24.4.2012 13:33:45	24.4.2012 13:33:45
Pisteen kuvaus	MOOTTORI VP VAAKA NOPEUS	M01 nopeus
Koneen kuvaus	PUMPPU POS 13.1	Pumppu 13.1
Yksiköt	mm/s	mm/s
Alarajataajuus	10	0
Taajuusalue	0-1000 Hz	0-1282 Hz (rajattu 0-1000)
Ilmaisu	RMS	RMS
Ikkuna	Hanning	Hanning
Resoluutio	1,6 Hz	1,526 Hz
Keskiarvot	4	4

LIITE 2 Vertailumittaus 24.4.2012, verhoikäyrä



	SKF (kannettava)	IFM (kiinteä)
Anturin kiinnitys	Magneetti	Ruuvi
Mittausaika	24.4.2012 13:39:33	24.4.2012 13:39:33
Pisteen kuvaus	PUMPPU VP VAAKA ENV3	P04 laakeritaajuudet
Koneen kuvaus	PUMPPU POS 13.1 NO:1	Pumppu 13.1
Yksiköt	gE	mg
Alarajataajuus	10	0
Taajuusalue	0-1000 Hz	0-1282 Hz (rajattu 0-1000)
Ilmaisuu	Huippu	Peak
Ikkuna	Hanning	Hanning
Resoluutio	1,6 Hz	1,526 Hz
Keskiarvot	4	4

LIITE 3 Vertailumittaus 24.4.2012, kiihtyvyyys



	SKF (kannettava)	IFM (kiinteä)
Anturin kiinnitys	Magneetti	Ruuvi
Mittausaika	24.4.2012 13:38:34	24.4.2012 13:38:34
Pisteen kuvaus	PUMPPU KP VAAKA KIIHTYVYYS	P03 kiihtyvyyys
Koneen kuvaus	PUMPPU POS 13.1 NO:1	Pumppu 13.1
Yksiköt	g	mg
Alarajataajuus	5	0
Taajuusalue	0-5127	0-5127
Ilmaisu	RMS	RMS
Ikkuna	Hanning	Hanning
Resoluutio	6,409 Hz	6,104 Hz
Keskiarvot	4	4